



Energirenovering af typisk parcelhus opført i perioden 1960-1980

Del1: beregninger

Tommerup, Henrik M.

Publication date:
2008

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Tommerup, H. M. (2008). *Energirenovering af typisk parcelhus opført i perioden 1960-1980: Del1: beregninger*. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet. Byg Rapport No. R-165

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Energirenovering af typisk parcelhus opført i perioden 1960-1980



Institut for Byggeri og Anlæg

**Del 1: Beregninger
Rapport 2008**

Skrevet af Henrik Tommerup
DTU Byg-Rapport R-165 (DK)
ISSN: 1601-2917
ISBN 978-87-787-7239-8
11 2008

Forord

Denne rapport er udarbejdet som et led i gennemførelse af et projekt, hvor effekten af en relativt vidtgående efterisolering af et parcelhus demonstreres. Rapportens fokus er at dokumentere hvilken effekt de gennemførte tiltag har for bygningens energibehov.

Huset er et parcelhus i ét plan fra 1972 beliggende i Næstved. Der er tale om et arkitekttegnet hus med loft til kip i halvdelen (stuen) af huse. Den anden halvdel af huset har traditionelt plant loft.

Dokumentationen af husets energibehov er udført ved hjælp af beregningsprogrammet Be06. Programmet anvendes i forbindelse med ansøgning om byggetilladelse og danner desuden grundlag for energimærkningsordningen. Rapporten viser beregningsforudsætninger og indeholder detaljerede beskrivelser og tegninger af de forbedringer der er gennemført.

Byggeindustrien har tidligere meldt ud at det er muligt at halvere bygningers varmebehov. Denne rapport viser et eksempel på hvordan dette kan lade sig gøre.

I tilknytning til projektet er der desuden foretaget detaljerede målinger af energiforbrug mm., som er rapporteret i ”Energirenovering af typisk parcelhus opført i perioden 1960-1980 - Del 2: Målinger” (R-166) [1].

Rapporten er udarbejdet af DTU Byg for Rockwool International A/S i forbindelse med gennemførelse af projektet.

Danmarks Tekniske Universitet, Kongens Lyngby, november 2008.

Indhold

Forord.....	1
Indhold	2
Konklusion	3
Resumé	4
Summary	6
1 Indledning	8
2 Konstruktioner og systemer – før og efter renoveringen	9
2.1 Konstruktioner og systemer før renoveringen	9
2.2 Konstruktioner og systemer efter renoveringen.....	14
2.3 Samlet oversigt over bygningsdata før og efter.....	20
3 Bestemmelse af bygningens energibehov – før og efter renoveringen.....	21
3.1 Energibehov (Be06) før renoveringen	21
3.2 Energibehov (Be06) efter renoveringen.....	24
4 Beregningsresultater og diskussion af energibehov	26
4.1 Energibesparelser for de enkelte energisparetiltag	26
4.2 Energimærkning af bygningen før og efter renovering.....	27
5 Varmetab før og efter renoveringen.....	29
5.1 Beregning af konstruktioner før renoveringen.....	29
5.2 Beregninger af konstruktioner efter renoveringen	36
5.3 Sammenfatning af bygningens varmetab før og efter renoveringen	40
6 Referencer	44
 Bilag 1: Tegninger	 45
Bilag 2: Kedeldata til Be06 for Viessmann Vitodens 300	63

Konklusion

Rapporten viser at man kan halvere energibehovet til bygningsdrift i et typisk parcelhus opført i perioden 1960-1980 ved at foretage relativt simple energimæssige forbedringer af klimaskærm og installationer.

Husets beregnede energibehov til bygningsdrift var før renoveringen 272 kWh/m^2 pr. år. Efter renoveringen er det blevet reduceret med 60 % til 109 kWh/m^2 pr. år. Rammen for energibehov for et tilsvarende nyt hus er 89 kWh/m^2 pr. år. Husets energibehov er altså blevet forbedret omtrent til niveau for nye huse anno 2008. Samtidig er indeklimaet bedre efter renoveringen i form af varmere overflader, bedre luftkvalitet, mindre temperatursvingninger, reducerede trækgener, mindre støj udefra mv.

Beregninger af energibesparelsen for de enkelte tiltag viser at omtrent 50 % af energibesparelsen kan tilskrives tiltag på klimaskærmen, mens de sidste 50 % vedrører ventilations- og varmeanlæg.

Huset har opnået en energimærkning før og efter energirenoveringen beregnet til henholdsvis F og C. Der er således tale om en væsentlig forbedring.

Resumé

Denne rapport dokumenterer at man relativt enkelt kan mere end halvere energibehovet til bygningsdrift i et typisk parcelhus fra 1960/70'erne. Der er tale om et hus i ét plan med delvist loft til kip og et opvarmet etageareal på 155 m². Dokumentationen er udført med Be06-programmet.

Husets oprindelige klimaskærmskonstruktioner bestod dels af tunge ydervægspartier med 30 cm isolerede hulmure/dobbeltvægge med trådbindere og dels af lette ydervægspartier udført i træskelet med 100 mm isolering (senere efterisoleret med 100 mm i trækassetter). Vinduerne var trævinduer med standard 2-lags termoruder. Tag-/loftkonstruktionen var isoleret med 100 mm (plant loft senere efterisoleret med 200 mm). Terrændækket var overvejende udført med 30 mm isolering.

De gennemførte energibesparende tiltag er:

- **Isolering af klimaskærm:** Udvendig efterisolering af lette og tunge ydervægspartier, rem, fundamenter og skråloft.
- **Nye vinduer:** Nye energivinduer og døre med 2-lags energiruder samt nye 3-lags energiruder med krypton gasfyldning i vinduespartier i stuen.
- **Ændret ventilation:** Tætning af klimaskærmen og installation af et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding.
- **Ny kedel:** Kedlen er udskiftet med en ny kondenserende gaskedel
- **Lavtemperatur drift:** Dækker over en energibesparelse på drift af varmeanlægget, som er en følgevirkning af den forbedrede klimaskærm, som betyder, at radiatorsystemet kan yde tilstrækkeligt med varme selv om det drives ved lavere temperatur, hvilket medfører et reduceret varmetab fra varmefordelingsrør.

Det årlige energibehov er beregnet i henhold til SBI anvisning 213. Ved fastlæggelse af inddata til beregningerne er der taget udgangspunkt i Håndbog for energikonsulenter [2]. Det årlige energibehov er blevet reduceret fra 272 til 109 kWh/m² pr. år eller med 163 kWh/m² svarende til 60 %. I kapitel 4 findes en sammenfatning af resultaterne.

Kravet til et nyt hus i denne størrelse er 89 kWh/m² pr. år. Energiforbruget for huset efter energirenoveringen er altså blevet reduceret til omtrent niveauet for nye huse anno 2008. Huset har opnået en energimærkning før og efter energirenoveringen svarende til henholdsvis F og C, så der er tale om en væsentlig forbedring.

Yderligere energibesparelser kunne være opnået ved efterisolering af terrændækket, men tiltaget blev vurderet til at være for omfattende og dyrt med de metoder der er i dag.

Det er vigtigt, at bemærke, at introduktion af mekanisk ventilation med varmegenvinding som erstatning for naturlig ventilation i kombination med efterisoleringen og tætning af klimaskærmen har forbedret indeklimaet betydeligt i form af varmere overflader og dermed mindre risiko for kondens/skimmelsvamp, bedre luftkvalitet, reducerede trækgener, mindre støj udefra mv.

Nedsættelse af energibehovet for de enkelte tiltag er interessant og fremgår nedenfor. Beregningerne er gennemført i henhold til den metode der anvendes af energikonsulenter, dvs. at der er foretaget en enkeltvis beregning af de enkelte tiltag separat. Derfor skal det bemærkes at summen af de enkelte besparelser er større end den energibesparelse, der samlet kan forventes baseret på de samlede beregninger, hvor alle tiltag indgår. En nærmere forklaring fremgår af kapitel 4.1.

Energisparetiltag	Nedsættelse af energibehov [kWh/m ² /år]	Energi- besparelse [%]
Isolering af klimaskærm	45	26
Nye vinduer	45	26
Ændret ventilation	39	23
Ny kedel	35	20
Lavtemperatur drift	9	5
I alt	173	100

Beregningerne viser at isolering af klimaskærmen kan tilskrives 26 % af det nedsatte energibehov, mens nye vinduer også reducerer energibehovet 26 %. Den ændrede ventilation i form af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding bidrager med 23 %, og sammenholdt med at den mekaniske ventilation giver et bedre indeklima er der tale om et fornuftigt tiltag. Desuden ses det, at besparelsen på skift af kedlen har reduceret energibehovet med 20 %, mens lavtemperatur drift på varme anlægget giver en besparelse på 5 %. Man kan på baggrund af beregningerne overordnet konkludere, at omtrent 50 % af energibesparelsen kan tilskrives tiltag på klimaskærmen, mens de sidste 50 % vedrører ventilations- og varme anlæg.

Beregninger af effekten af komfortforbedringer i form af tagvinduer og cirkulation på varmt brugsvand viser at energibehovet efter renoveringen forøges med 11 %, hvis de to komfortforbedringstiltag også gennemføres.

Det skal bemærkes at beregningerne er gennemført under de standardforudsætninger vedrørende indetemperatur, varmtvandsbehov og brugeradfærd, som er gældende ved energimærkning. Det betyder at der kan være væsentlig forskel på de beregnede effekter af tiltagene og de faktisk opnåede besparelser idet brugervaner i form af faktiske temperaturforhold, elforbrug, åbne vinduer, vejrforhold etc. spiller en særdeles stor rolle for det faktiske forbrug.

Summary

Report R-165: Energy renovation of a typical Danish single-family house from the 1960-80's.

The report documents that the energy consumption for heating, cooling and ventilation in a typical Danish single-family house from the 1960-80's can be reduced by 60%. The house is a typical one storey house built in 1972 with a heated gross floor area of 155 m². It was achieved using relatively simple improvements of building envelope constructions and heat and ventilation systems.

The documentation has been carried out using the programme Be06, which is the official Danish calculation tool to be used in the assessment of the energy performance of buildings. The calculation method used in the programme is of course based on relevant European standards (e.g. heating requirements based on pr EN ISO 13790), and the calculations are carried out on a monthly basis. The programme input was based on "Handbook for Energy Consultants 2008" which is used by Danish energy assessors carrying out assessments and producing Energy Performance of Buildings Certificates.

The calculated energy performance before the renovation was 272 kWh/m² per year. After the renovation it has been reduced by 60% to 109 kWh/m² per year. The energy frame of a new house is 89 kWh/m² per year. Consequently the house was brought up to almost the energy performance level of a new house. As a positive side effect, the living conditions have been greatly improved due to the insulation, air tightness measures, and the introduction of mechanical ventilation with heat recovery.

The house has achieved an Energy Certification of F before the renovation and a C after the renovation (based on a scale from A-G). This corresponds to a significant improvement.

The existing building envelope construction consisted partly of 300 mm insulated cavity walls with 75 mm of insulation, steel ties, and an outer leaf of 110 mm masonry and an inner leaf of 100 mm light-weight concrete or 110 mm masonry. Parts of the external walls were originally framed walls with studs of timber and with an insulation thickness of 75 mm, which was later increased by 125 mm. The fairly large areas of windows were traditional old wooden windows with double-pane glazing. The roof with one half of it having a ceiling to the ridge and the other half with a normal flat ceiling were insulated with 100 mm and 300 mm of mineral wool, respectively. The slab on ground construction had an insulation thickness of only 30-50 mm.

The energy saving measures carried out were:

- **Insulation of the building envelope:** External insulation of walls (100-150 mm), External insulation of foundations, 45 cm below ground (100-225 mm), External insulation of the ceiling to the ridge (345 mm) (no extra insulation of the flat part)
- **New windows:** New slim framed wooden windows and external doors with double-pane low-e-glazing, New triple-pane low-e-glazing with krypton in the large glazing facades
- **Changed ventilation:** Air tightness measures regarding building envelope, Installation of a mechanical ventilation system with high-efficiency heat recovery (Nilan Comfort 300T EC)
- **New gas boiler:** New high-efficiency condensing gas boiler (Viessmann Vitodens 300), insulated hot-water tank and new thermostatic valves.

- **Low temperature operation of the heating system:** Related to the improved insulation of the envelope which means that the water based heaters can yield sufficient heat even though the temperature is lower, which results in a reduced heat loss from the heating pipes placed in the concrete slab of the slab on ground construction.

The reduction in the energy requirement for the different energy saving measures is interesting and is evident in the table below. The method used is the same as Danish energy consultants' use, i.e. each individual energy saving measure is calculated separately. It should be noted that the sum of the energy savings is somewhat larger than when calculated with all measures included.

Energy saving measure	Reduction in energy requirement [kWh/m ² /year]	Energy savings [%]
Insulation of the building envelope	45	26
New windows	45	26
Changed ventilation	39	23
New gas boiler	35	20
Low temperature operation of the heating system	9	5
Total	173	100

The calculations show that insulation of the building envelope saves 26% of the total energy savings, while new windows also save 26 %. The share of reduction regarding the changed ventilation is 23%. The replacement of the boiler contributes 20% to the savings and the low temperature operation of the heating system 5%. Based on these calculations, it can be concluded that about 50% of the energy savings is related to the building envelope and that the other 50% is due to heating and ventilation related measures.

The calculation of the effect of the comfort improvements, i.e. roof windows and circulation of domestic hot water, shows that the energy requirement after the renovation will increase 11%.

The calculations were carried out using standard assumptions from the energy certification scheme regarding indoor temperature, required domestic hot water and user behaviour. This implies the possibility of significant differences in the calculated effects of the energy saving measures, and the actual gained savings as user preferences – like the actual indoor temperature conditions, electricity consumption, opening of windows, weather conditions etc. – play an important role for the real energy requirement.

1 Indledning

I 2006 blev der indført nye skærpede energikrav til både nye og eksisterende bygninger, inkl. en klassifikationsordning for bygninger. Disse krav er baseret på EU-direktiv om bygningers energimæssige ydeevne (EPBD 2002/91/EC) [3]. Generelt set er en af konsekvenserne af de nye energibestemmelser at eksisterende bygninger skal forbedres i forbindelse med større renoveringer eller tilbygninger.

Der er i den forbindelse et stort behov for at vise eksempler på hvordan dette kan gøres og hvilke arkitektoniske, konstruktive, energimæssige og økonomiske konsekvenser det har. Det er især i parcelhuse fra 60'erne og 70'erne, at samfundet kan hente store energibesparelser ved at energirenovere, idet ca. 500.000 af i alt ca. 1,1 million danske parcelhuse er opført i denne periode.

Rockwool A/S har gennemført en renovering af et typisk parcelhus fra 70'erne. Projektets formål har været at demonstrere, at det er muligt at opnå store besparelser i energiforbruget i eksisterende boliger. Denne rapport viser beregningerne af hvordan bygningens ydeevne forbedres ved gennemførelse af disse besparelser. Projektet formål har mere overordnet været at bidrage til en bedre viden om hvordan boligmassen inden for overskuelig fremtid kan energirenoveres.

Denne rapport indeholder:

- Beskrivelse af bygningens konstruktioner og installationer
- Hvordan bygningen forbedres
- Beregning af bygningens U-værdier
- Beregning af bygningens energibehov herunder beskrivelse af inddata til beregningen.

Formålet er at beregne bygningens energibehov før og efter energirenoveringen. Beregningerne er gennemført i henhold til SBI anvisning 213, som i øvrigt også benyttes ved energimærkning af både nye og eksisterende bygninger. Beregningen kan direkte sammenlignes med energirammen for nye huse. Beregningen foretages med programmet Be06 [4] og inddata er bestemt efter reglerne for energimærkning af bygninger, herunder er varmetabsberegninger foretaget iht. DS418: Beregninger af bygningers varmetab [8].

2 Konstruktioner og systemer – før og efter renoveringen

I det følgende beskrives husets oprindelige klimaskærmskonstruktioner og varme- og ventilationsanlæg samt de forandringer som gennemføres for at forbedre husets energi- og indeklimate forhold. Resultaterne skaber de inddata, der er behov for i de efterfølgende beregninger med Be06. Beregning af klimaskærmens varmetabskoefficienter er der redegjort for i kapitel 5.

Beskrivelsen er baseret på oprindelige tegninger af huset samt på inspektion/opmåling i huset, hvor det foreliggende tegningsmateriale ikke har været fyldestgørende. Det har ikke været praktisk muligt at få fastlagt alle dimensioner og detaljer vedrørende konstruktionerne, men med hjælp fra litteratur mm. vedrørende den daværende gængse byggeteknik, vurderes beskrivelsen at være fyldestgørende.

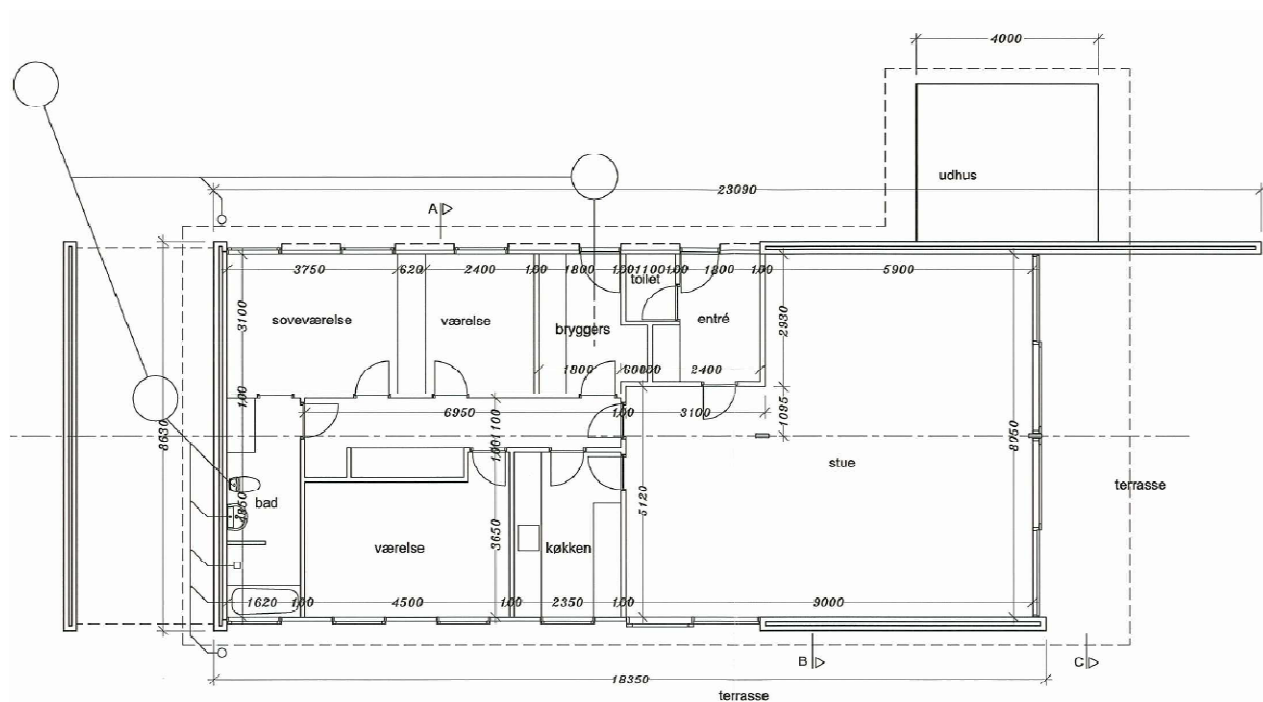
Der antages en deklareret varmeledningsevne for det oprindelige isoleringsmateriale fra husets opførelse på $0,033 \text{ kcal/mhK} = 1,163 \times 0,033 = 0,038 \text{ W/mK}$. Desuden antages det at omtalte efterisoleringer af lette ydervægge og loft er foretaget med såkaldt klasse 39 isolering, svarende til en deklareret varmeledningsevne på $0,037 \text{ W/mK}$.

2.1 Konstruktioner og systemer før renoveringen

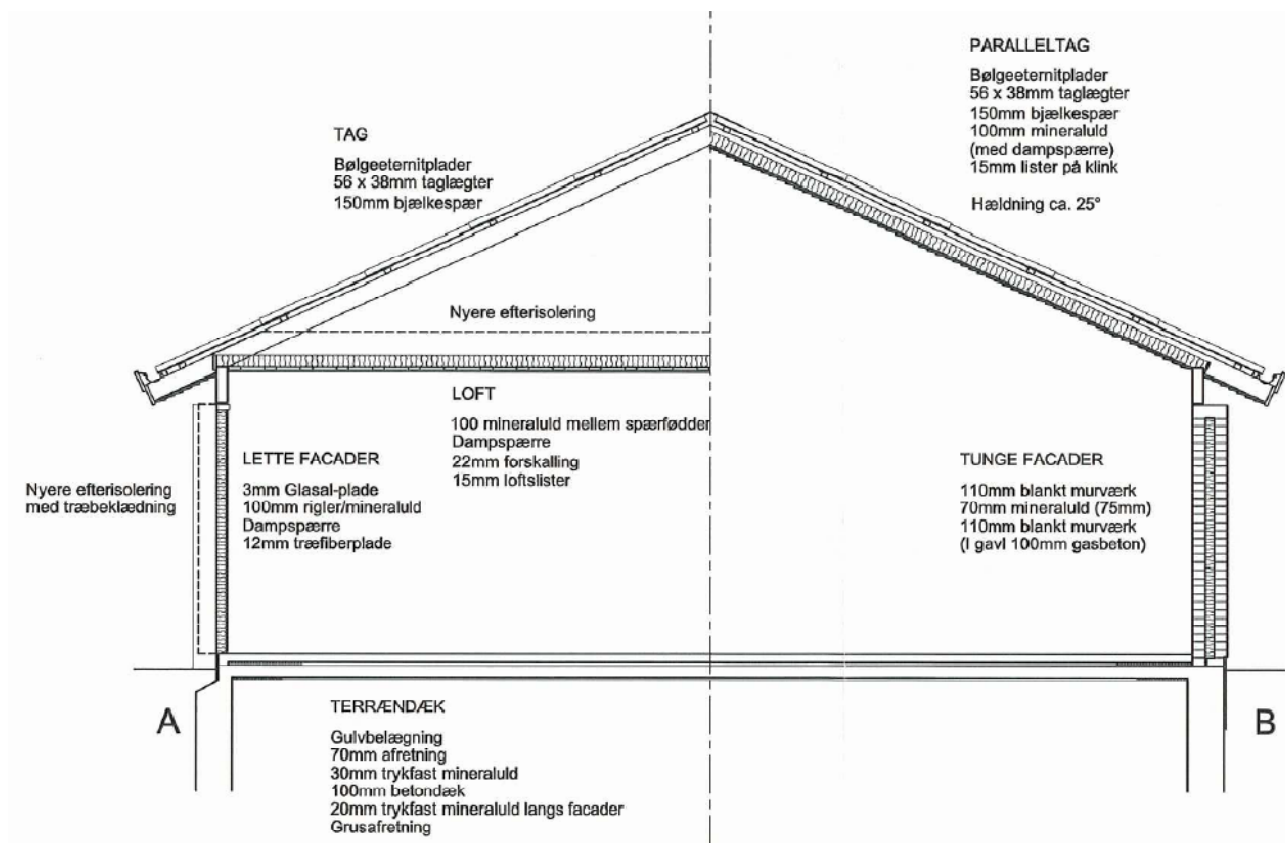
2.1.1 Hoveddata

Huset er et arkitekttegnet parcelhus fra 1972, der er beboet af et ægtepar og en teenager. Huset er i ét plan og har et opvarmet etageareal på $154,5 \text{ m}^2$. Den ene halvdel af huset har vandret loft, mens der er skråloft (loft til kip) med en hældning på ca. 25° i den anden halvdel. Rumhøjden er 2,40 m ved vandret loft og maksimal rumhøjde ved kip er ca. 4,3 m. Langs husets facader er der et mindre tagudhæng, mens der er et større udhæng på ca. 2 m i den ene gavl, hvor der er ét stort vinduesparti. Husets samlede rumvolumen er på 400 m^3 .

I nedenstående Figur 1 og Figur 2 er vist en plan og et tværsnit af huset.



Figur 1. Plan – eksisterende forhold.



Figur 2. Tværsnit – eksisterende forhold.

2.1.2 Tag og loft

Skråt loft (loft til kip): Konstruktionen består (regnet indefra) af: 15 mm brædder/lister på klink ($\lambda = 0,120 \text{ W/mK}$) fastgjort til 75 x 150 mm bjælkespær pr. 80 cm, 100 mm isolering med dampspærre, såkaldte vingemåtter ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$), ventileret hulrum, taglægter og tagbeklædning i bølgeeternitplader ($R = 0,200 \text{ m}^2\text{K/W}$). Middelvarmeledningsevnen for lag med 10 % træ (7,5/80) og 90 % isolering er 0,046 W/mK.

Traditionelt plant loft: Konstruktionen består (regnet indefra) af: 15 mm loftlister ($\lambda = 0,120 \text{ W/mK}$), 22 mm spredt forskalling fastgjort til 75 x 125 mm gitterspær pr. 80 cm, dampspærre, 100 mm oprindelig isolering ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$), 200 mm nyere efterisolering ($\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$) samt ventileret tagrum med bølgeeternitplader på lægter ($R = 0,200 \text{ m}^2\text{K/W}$). Middelvarmeledningsevnen for lag med 10 % træ (7,5/80) og 90 % isolering er 0,046 W/mK.

2.1.3 Ydervæg

Ydervægge består af forskellige typer tunge og lette facadepartier.

De tunge facader består af to varianter mht. bagmuren:

300 mm hulmur med 75 mm mineraluldsisolering ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$). Formuren består af 110 mm kalksandsten ($\lambda = 1,650 \text{ W/mK}$) og bagmuren af 110 mm kalksandsten med densitet på 1800-2000 kg/m^3 ($\lambda = 1,400 \text{ W/mK}$).

300 mm dobbeltvæg med 75 mm mineraluldsisolering ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$). Formuren består af 110 mm kalksandsten ($\lambda = 1,650 \text{ W/mK}$) og bagmuren af 100 mm porebeton med densitet på 650 kg/m^3 ($\lambda = 0,160 \text{ W/mK}$).

For- og bagmur antages forbundet med 8 stk. trådbindere pr. m^2 af 4 mm galvaniseret stål. I periferien af de tunge facader er der udført $\frac{1}{2}$ stens ommuring uden kuldebroafbrydelse.

I de lette facader er der oprindeligt udført 100 mm isolering i træskelet konstruktion, men senere er der blevet efterisoleret med 100 mm i trækassetter. Isoleringen antages udført i bærende skelet af træ og med en træprocentandel på 10 %. Derved kan der beregnes en gennemsnitlig varmeledningsevne for skelet med isolering på 0,046 W/mK. De lette facadepartier består således af (regnet indefra): 12 mm karlit ($\lambda = 0,180 \text{ W/mK}$), dampspærre, to lag isolering/træ á 100 mm ($\lambda = 0,046 \text{ W/mK}$) og en lodretstående "1 på 2" træbeklædning ($R = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$).

Tagkonstruktionen ligger af på en rem, der igen ligger af på de tunge facaders bagvæg eller er understøttet af stålør ved de lette facader. Stålrørne er ikke gennemgående, så varmeteknisk set kan der ses bort fra dem. Rem af limtræ har dimensionen 90 x 300 mm (bredde x højde) og er uisolert.

2.1.4 Vinduer

Eksisterende vinduer er trævinduer med traditionelle 2-lags termoruder.

Ramme-karmprofilet har dimensionen 140 mm x 80 mm (d x b). Faste dele af vinduespartier i stuen har dimensionen 85 mm x 55 mm (d x b), mens dørprofilerne har dimensionen 55 mm x 110 mm (d x b) i sider og top og 55 mm x 200 mm (d x b) i bund. U-værdien for de

forskellige ramme-karm konstruktioner beregnes på baggrund af DS418 og angivelser af U-værdier for hårdtræ som funktion af de forskellige ramme-karm tykkelser.

Linietafet for rudekanten med afstandsprofil er fastsat på baggrund af DS418, idet der kan regnes med et linietaf på 0,07 W/mK for en 2-lags termorude med afstandsprofil i almindeligt stål. U-værdien for 2-lags termoruder er typiske 2,8 W/m²K, mens g-værdien, eller solenergitransmittansen er 75 %.

I Tabel 1 nedenfor er vist en oversigt over de enkelte vinduer og døre.

Tabel 1. Vinduesmål, rudeareal (A_g), ramme-karmareal (A_f) og samlet areal for husets vinduer og udvendige døre (A).

	Antal [stk.]	Bredde [m]	Højde [m]	A_g [m ²]	A_f [m ²]	A [m ²]
Vindue, køkken N	1	1,20	1,20	1,08	0,36	1,44
Vinduer, værelser S/N	6	1,20	1,45	1,34	0,40	10,44
Glasparti, stue N	1	3,00	2,12	5,23	1,13	6,36
Glasparti, stue V (nedre del)	1	7,94	2,12	14,30	2,54	16,83
Glasparti, stue V (øvre del)	1	3,97	1,85	6,24	1,10	7,34
Udvendige døre	2	0,90	2,12	1,33	0,58	3,82
I alt						46,2

Det samlede areal af vinduer og døre i huset er 46,2 m². Vindues- og dørarealet (hulmål) udgør således 30 % af det opvarmede etageareal. Set for huset under ét er glasandelen 81 % af det samlede areal af vinduer- og yderdøre. Der er altså tale om et relativt stort vinduesareal og heraf er en stor del transparent.

2.1.5 Gulv og fundament

Terrændækket er udført med ekstra isolering i randfeltet. Normalkonstruktionen består, regnet indefra, af gulvbelægning (parket eller klinker), 70 mm afretningslag ($\lambda = 2,000$ W/mK), 30 mm isolering ($\lambda = 0,038$ W/mK), 100 mm klaplag ($\lambda = 2,000$ W/mK) og 200 mm groft grus ($\lambda = 2,000$ W/mK). Der regnes med en jordisolans på 1,5 m²K/W og en indvendig overgangsisolans på 0,17 m²K/W. I randfelter er der udført ekstra 20 mm isolering under klaplaget. Terrændæk under bad er udført med 50 mm isolering under klaplag. Fundamenter er udført i beton, også i sokkel.

2.1.6 Indervægge

Indervægge består af 100 mm porebeton.

2.1.7 Samlingsdetaljer

De vigtigste samlingsdetaljer fremgår af tegningerne i bilag 1.

2.1.8 Ventilation

Princippet for ventilation af huset er naturlig ventilation via aftrækskanaler i køkken, baderum og toilet samt åbning af vinduer og døre. I køkken er der emhætte, som i en kort periode jævnlgt bidrager til ventilationen. En del af luftskiftet sker via utætheder i klimaskærmen, svarende til såkaldt infiltration.

Ventilationen før renoveringen er baseret på måling af klimaskærmens lufttæthed i form af en trykprøvning ved 50 Pa (en såkaldt Blowerdoor test) [9]. Resultatet af prøvningen var et luftskifte q_{50} på $12 \text{ h}^{-1} = 8,5 \text{ l/s/m}^2$, som kan konverteres til et luftskifte på $0,55 \text{ l/s/m}^2$ eller $0,77 \text{ h}^{-1}$, når man anvender konverteringsformlen i SBI-anvisning 213 [4].

Den naturlige ventilation før renoveringen er også målt med sporgas over en kold og kort periode i fyringssæsonen på ca. 14 dage ved benyttelse af PFT- og CO_2 -målinger [6] og [7]. Det gennemsnitlige luftskifte i huset blev målt til $0,35 \text{ h}^{-1}$ eller $0,25 \text{ l/s/m}^2$. Beliggenhed, brugeradfærd og vejr- og vindforhold mm. har stor betydning for luftskiftets størrelse, så de tidsmæssigt relativt beskedne sporgas målinger, giver ikke nødvendigvis det sande billede af det gennemsnitlige luftskifte før renoveringen.

Det skal bemærkes, at anvendelse af trykprøvningsresultatet, som grundlag for ventilationstabet, nok giver et lidt for højt beregnet energibehov før renoveringen, da huset ikke har udsat beliggenhed, men ligger beskyttet inde midt i et bynært parcelhusområde med betydelig bevoksning, og forbi sporgasmålingerne viser et andet niveau.

SBI-anvisning 213 [4] anviser at man i sommerperioden kan antage en naturlig ventilation på $0,9 \text{ l/s/m}^2$, da det forventes at vinduer og døre holdes mere åbne.

2.1.9 Varmeanlæg

Varmeforsyningen af huset er baseret på naturgas. Varme produceres i en gaskedel, der er placeret i bryggers. Varmen fordeles via varmerør (2-streng), som er indstøbt i terrændækket, og antages placeret i periferien af terrændækket svarende til placering af radiatorer og normal byggeskik på opførelsestidspunktet. Varmen afgives fra radiatorer (i baderum dog kombineret gulvvarme og radiatorvarme). I stuen har der oprindeligt været konvektorgrave, som dog for nyligt er blevet fyldt ud med isoleringsmateriale og erstattet af små gulvradiatorer.

Kedlen er en ældre (ca. 15 år gammel) ikke-kondenserende gaskedel af typen Viessmann Gasola. Den er indbygget i en unit der også består af en varmtvandsbeholder på 90 liter med 30 mm isolering samt en cirkulationspumpe i form af en standard Grundfos UPS 20-40 trinstyret pumpe. Kedlen er udstyret med en såkaldt atmosfærisk brænder, der er en gasbrænder, hvis forbrændingsluft tilføres ved atmosfærisk tryk uden blæser. Kedelens nominelle effekt er 12 kW svarende omtrent til det dimensionerende varmetab for bygningen.

Der har ikke været muligt at fremskaffe en prøvningsrapport på den aktuelle kedel. I mangel af bedre data benyttes data fra Håndbog for energikonsulenter 2008 [2], bilag 5.13.: Standarddata for kedelanlæg. Kedlen antages i en stand svarende til kategorien ”ældre, middel”. De anvendte standarddata til brug i Be06-programmet, fremgår af Tabel 2.

Tabel 2. Anvendte data for kedlen - data for 20 kW benyttes. [2].

Ældre, middel	Fuldlast		Dellast		Tomgangstab	
Ydelse [kW]	Virkningsgrad [-]	Korrektion [$^{\circ}\text{C}$]	Virkningsgrad [-]	Korrektion [$^{\circ}\text{C}$]	Tabsfaktor [-]	Andel til rum [-]
20	0,85	0,001	0,83	0,003	0,02	0,85
70	0,87	0,001	0,86	0,002	0,015	0,70
200-1000	0,87	0,001	0,90	0,001	0,01	0,70

2.2 Konstruktioner og systemer efter renoveringen

I dette kapitel redegøres for de udførte tiltag i forbindelse med energirenoveringen.

2.2.1 Hoveddata

De gennemførte energibesparende tiltag er:

- Isolering af klimaskærm
- Nye vinduer
- Ændret ventilation
- Ny kedel
- Lavtemperatur drift

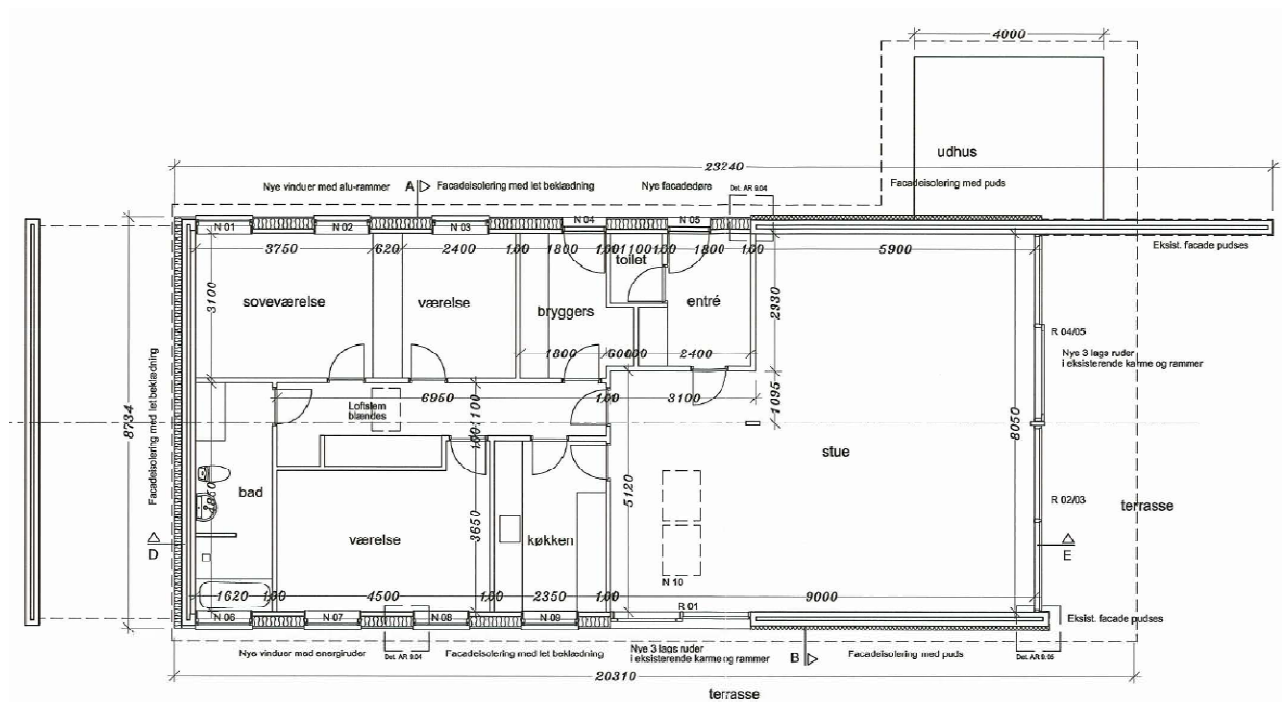
Isolering af klimaskærmen har omfattet udvendig efterisolering af lette og tunge ydervægspartier, rem, fundamenter og skråloft. Nye vinduer indbefatter nye energivinduer og døre med 2-lags energiruder samt nye 3-lags energiruder med krypton gasfyldning i vinduespartier i stuen. Ændret ventilation omhandler installation af et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Den nye kedel er en kondenserende gaskedel, mens lavtemperatur drift dækker over en energibesparelse på drift af varmeanlægget, som en følgevirkning af den forbedrede klimaskærm, som betyder, at radiatorsystemet kan yde tilstrækkeligt med varme selv om det drives ved lavere temperatur. Det betyder et reduceret varmetab fra rør.

Derudover er der etableret:

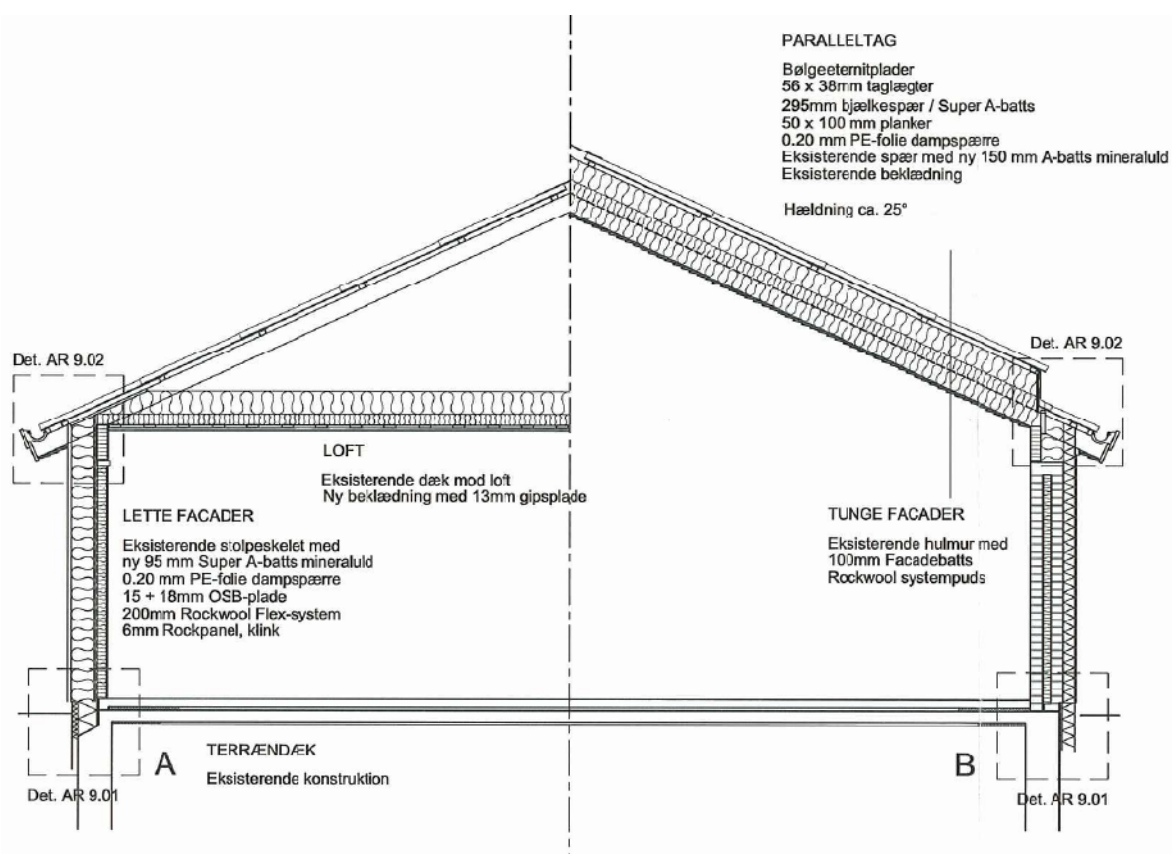
- 2 nye ovenlysvinduer i stuen i det efterisolerede tag
- Cirkulation med urstyring på det varme brugsvand

Det opvarmede etageareal forøges dog som følge af den udvendige efterisolering med ca. 7 m², så dette areal efter renoveringen er 161 m². Udhænget langs facaderne er blevet mindre på grund af den udvendige efterisolering.

I nedenstående Figur 3 og Figur 4 er vist plan og tværsnit af huset efter gennemførelse af energirenoveringen.



Figur 3. Plan – projekt som udført.



Figur 4. Tværsnit – projekt som udført.

2.2.2 Tag og loft

Den indvendige beklædning på den skrå del af loftet er bibeholdt. De eksisterende isoleringsmåtter mellem spærene er fjernet og der er udført ny 150 mm isolering af Super A-batts ($\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$). Derefter er der monteret dampspærre med tape og samlinger. Spær og isolering er forøget med 295 mm isolering af Super A-batts ($\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$), og der er opbygget et nyt eternittag. Den samlede isoleringstykkelse er efterfølgende 445 mm.

Det plane traditionelle loft er ikke blevet efterisoleret, da det allerede er blevet efterisoleret. Den samlede isoleringstykkelse er 300 mm. Der er udført et nyt loft af gipsplader på undersiden af det eksisterende for at tætte loftet.

2.2.3 Ydervægge

De tunge facader i stuen er efterisoleret udvendigt med 100 mm Rockwool facadebatts ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$) og afsluttet med 15 mm Rockwool Systempuds. Den tunge facade i den ene gavl er efterisoleret udvendigt med 150 mm Rockwool Flex Systemvæg ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$), der er beklædt med 6 mm RockPanel på klink. Den samlede isoleringstykkelse er herefter hhv. 175 og 225 mm.

De lette facader er isoleret med 300 mm ny isolering (alt eksisterende isolering er fjernet). Eksisterende stolpeskelet er udfyldt med 95 mm Super A-batts ($\lambda = 0,034 \text{ W/mK}$). Det er antaget at træskelettet består af 10 % træ, og der regnes derfor med en ækvivalent varmeledningsevne for træskeletet med isolering på $0,043 \text{ W/mK}$. Herefter er monteret 2 stk OSB-plader ($\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$) á hhv. 15 og 18 mm plade som underlag for 200 mm isolering i form af Rockwool Flex Systemvæg ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$). Udvendig beklædning er udført som 6 mm RockPanel på klink.

Den som udgangspunkt uisolerede rem er efterisoleret udvendigt med 200 mm Rockwool Flex Systemvæg ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$) ved lette facadepartier og med 300 mm Rockwool Facadebatts ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$) ved tunge facadepartier.

Rockwool Facadebatts benytter facadedybler og Rockwool Flex Systemvæg benytter mekaniske fastgørelser som gennembyder isolering. Effekten heraf vurderes dog at være så lille, at det er rimeligt at se bort herfra i beregningerne.

2.2.4 Vinduer og ovenlys

Ruder i glaspartier i stuen er udskiftet med 3-lags energiruder med krypton gasfyldning og ”varm kant” udført af afstandsprofil i rustfri stål. Den eksisterende glasfals er fyldt ud med en liste, hvorefter ruderne er fastholdt med en liste udvendigt og indvendigt. Der er tale om en 4-12-5-12-6 rude med en samlet tykkelse på 39 mm. Ruden har en U-værdi på $0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en g-værdi på $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Vinduer er udskiftet med nye træ/alu-vinduer med 2-lags energirude og varm kant i form af afstandsprofil i rustfri stål. U-værdien for ruden er $1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$, mens g-værdien er 0,63. Dimensionen på træ/alu profilerne er 82·136 mm (b·d) og U-værdien er $1,44 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der er monteret to nye Velux tagvinduer i stuen i tagfladen mod nord. Disse har 2-lags energiruder og en samlet U-værdi på $1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Udvendige døre er udskiftet med nye pladedøre med 62 mm skumisolering og i alt 6 mm krydsfiner beklædning leveret af Obbekjær Maksinsnedkeri A/S baseret på

dørplade/fyldninger fra O.H. Industri A/S. Begge har en mindre aflang 2-lags energirude. Den samlede U-værdi er $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

I Tabel 3 nedenfor er vist en oversigt over de enkelte vinduer og døre. Det skal bemærkes at de nye vinduer i værelse og køkken samt udvendige døre er lidt mindre end de gamle vinduer. Til gengæld er etableret tagvinduer, hvilket betyder at vinduesarealet totalt set er forøget med $0,6 \text{ m}^2$.

Tabel 3. Vinduesmål, rudeareal (A_g), ramme-karmareal (A_f) og samlet areal for husets vinduer og udvendige døre (A).

	Antal [stk.]	Bredde [m]	Højde [m]	A_g [m ²]	A_f [m ²]	A [m ²]
Vindue, køkken N	1	1,15	1,11	0,93	0,34	1,28
Vinduer, værelser S/N	6	1,15	1,37	1,19	0,39	9,45
Glasparti N	1	3,00	2,12	4,66	1,91	6,36
Glasparti V, nedre del	1	7,94	2,12	13,87	2,97	16,83
Glasparti V, øvre del	1	3,97	1,85	6,18	1,16	7,34
Udvendige døre	2	0,86	2,12	0,24	1,59	3,65
Tagvinduer	2	0,78	1,18	0,58	0,34	1,84
I alt						46,8

Det samlede areal af vinduer og døre er $46,8 \text{ m}^2$, som svarer til 29 % af det opvarmede etageareal.

2.2.5 Gulv og fundament

Terrændækket er ikke blevet efterisoleret. Fundamenter er efterisoleret udvendigt med 100 mm isolering ($\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$), der er ført ca. 45 cm ned under terræn. Isoleringstykkelsen er dog 225 mm ved lette facadepartier, da fundaments soklens udformning umiddelbart tillader dette. Ved isoleringsmateriale mod jord skal den deklarerede varmeledningsevne ifølge DS418 korrigeres med en faktor 1,2 [5]. Det betyder at der for den del af fundamentsisoleringen, der er under terræn, skal regnes med en design varmeledningsevnen på: $\lambda = \lambda_{\text{deklareret}} \cdot F_m = 0,038 \cdot 1,2 = 0,046 \text{ W/mK}$.

2.2.6 Samlingsdetaljer

Samlingsdetaljer fremgår af tegningerne i bilag 1.

2.2.7 Ventilation

Der er installeret et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Selve ventilationsaggregatet er af typen Nilan Comfort 300 TOP EC, der er en model, som er konstrueret til at blive indbygget under trænge pladsforhold, f.eks. indenfor klimaskærmen i et bryggersskab. Aggregatet indeholder en modstrømsvarmeveksler og lavenergiventilatorer med EC-motorer samt filtre, styringselektronik mm. På grund af modstrømsvekslerens høje temperaturvirkningsgrad, der resulterer i komfortable indblæsningstemperaturer, leveres anlægget som standard uden varmeblænde. Det aktuelle anlæg er uden varmeblænde.

Aggregatet er blevet afprøvet af et akkrediteret prøvningsinstitut i Tyskland [8]. Prøvningen er foretaget på en loftmodel, hvor luften ikke vender (indløb og udløb af aggregatet sker ikke samme sted, hvilket er tilfældet for "TOP/skabsmodellen", hvor kanalsystemet er koblet til

aggregatet i toppen), men producenten oplyser at tallene fra rapporten også kan anvendes for ”TOP”-modellen. Prøvningen viser at ved en luftmængde på 200 m³/h (luftskifte på 0,5 h⁻¹), er den ”tørre” temperaturvirkningsgrad (dvs. uden kondensation i afkastluften) 86 % ved en udetemperatur på -3°C, 88 % ved 4°C og 91 % ved 10°C. Et kvalificeret bud på en forventelig gennemsnitlig virkningsgrad over fyringssæsonen vil således være ca. 88 %, da den gennemsnitlige udetemperatur her er omkring 5°C. Dette svarer til en indblæsningstemperatur på 18,2°C for en rumtemperatur på 20°C.

Til brug i Be06 beregningsprogrammet skal benyttes virkningsgraden uden kondensations- og motorvarme. Da motorvarmen fra den ene ventilator er inkluderet i virkningsgraden ovenfor, er der korrigeret for dette. Hvis indblæsningstemperaturen reduceres svarende til motorvarmebidraget, som er ca. 0,5°C, fås en indblæsningstemperatur på 17,7°C, hvilket svarer til en temperaturvirkningsgrad på: $(17,7 - 5,0) / (20,0 - 5,0) = 85 \%$.

Nilan oplyser at anlæggets totale effektforbrug (inkl. styringselektronik) er 55 W ved en luftmængde på 200 m³/h samt et tryktab i kanalsystemet på 100 Pa, som er et relativt normalt tryktab i enfamiliehuse. Luftmængden svarer til et luftskifte på 0,5 h⁻¹ i det aktuelle hus. Elforbruget svarer til en SEL-værdi på 1000 J/m³, der benyttes som inddata i Be06. Styringen optager ca. 5 W.

Anlæggets kanalsystem er ført uden for klimaskærmen i tagrummet over den plane del af loftet, og er isoleret med 50 mm lamelmåtte ($\lambda = 0,044$ W/mK) plus 200 mm Super A-batts på sider og 150 mm over rørene ($\lambda = 0,034$ W/mK). I kanalsystemet indgår tre rørdimensioner (Ø100, Ø125 og Ø160 mm). Rørlængder kan bestemmes i henhold til ventilationsplanen (se bilag 1). For kanalerne er beregnet et gennemsnitligt varmetab på 0,158 W/mK over en samlet kanalstrækning på 34,5 m. Varmetabet fra ventilationskanaler indgår beregningsmæssigt i Be06 i skemaet for fundamenter og samlinger om vinduer med varmetabskoefficient og længde. Der medregnes ikke varmetab fra ventilationsaggregatet, da det er placeret indenfor klimaskærmen i bryggers.

2.2.8 Varmeanlæg

Den eksisterende gasunit (inkl. varmtvandsbeholder) er udskiftet med en moderne kondenserende kedel af typen Viessmann Vitodens 300 (4,2-13/16) samt en separat 70 liters varmtvandsbeholder af typen Vitocell-W-100. En cirkulationspumpe er integreret i kedeluniten. Dansk Gasteknisk Center (DGC) har energimærket kedlen i regi af Energimærkningsordningen for gasfyrede villakedler (frivillig ordning), som er udarbejdet af DGC i samarbejde med gasselskaberne og energistyrelsen. Energimærket angiver en årsnyttevirkning på 98 % og et årligt elforbrug til den integrerede pumpe, blæser og automatik på 390 kWh. I bilag 2 er vedlagt detaljerede kedeldata for den pågældende kedel til brug i Be06. Varmtvandsbeholderens varmetab er af producenten angivet til 1,3 W/K.

Der er af komfortmæssige grunde monteret en brugsvandspumpe inkl. tidsstyring til periodevis (morgen og aften) cirkulation af det varme brugsvand i alt 6 timer pr. døgn. Pumpen er af typen Grundfos UP 15-14B, der har et konstant effektoptag på 25 W, når den er i drift.

Der er ikke foretaget tiltag vedrørende varmefordelingsanlægget. Dog er de gamle termostatventiler blevet udskiftet med nye.

2.2.9 Lufttætning af klimaskærm

Der har været særlig fokus at opnå en god lufttæthed af klimaskærmen, som har stor betydning for varmetabet. En god lufttæthed betyder at det meste af ventilationsluften går via varmegenvindingen, så varmen kan genbruges. Der er foretaget systematisk klemning, klæbning og fugning af alle samlinger og særligt samlinger mellem plastfoliebaner i loftkonstruktionen og deres fastgørelse ved tagfoden.

2.2.10 Infiltration

Klimaskærmens lufttæthed er efter renoveringen er målt med Blowerdoor test ved 50 Pa til $1,38 \text{ l/s/m}^2$ (undertryk) og $1,54 \text{ l/s/m}^2$ (overtryk) [9]. I beregningerne anvendes en gennemsnitsværdi heraf, dvs. $q_{50} = 1,44 \text{ l/s/m}^2$. Infiltrationen beregnes af formelen i SBI anvisning 213: $0,04 + 0,06 \cdot q_{50} = 0,13 \text{ l/s/m}^2$.

2.3 Samlet oversigt over bygningsdata før og efter.

Nedenstående Tabel 4 sammenfatter resultaterne af U-værdi beregningerne, som er anført i kapitel 5. Desuden findes der i Tabel 5 en oversigt over varme og ventilationsanlæg før og efter renoveringen. Disse data anvendes i forbindelse med bestemmelse af energibehovet før og efter renoveringen.

Tabel 4. U-værdier ($\text{W/m}^2\text{K}$) før og efter renoveringen.

Konstruktion	Før renoveringen	Efter renoveringen
Ydervægge	0,53	0,19
Terrændæk (<i>uændret</i>)	0,36	0,36
Loft, plant (<i>uændret</i>)	0,12	0,12
Loft, til kip	0,41	0,09
Fundamenter (W/mK)	0,60	0,30
Vinduer og døre	2,81	1,05

Det ses af Tabel 4, at U-værdien for vinduer og døre er reduceret markant fra 2,81 til 1,05. Den samlede energimæssige ydeevne afhænger dog også af vinduernes solenergitransmittans. Denne er reduceret på grund af anvendelse af glas med lavemissionsbelægninger (energiglas) og i nogle tilfælde flere glaslag.

Tabel 5. Data for systemer før og efter renoveringen.

System	Før renoveringen	Efter renoveringen
Ventilation	Naturlig ventilation	Mekanisk ventilation med varmegenvinding
Luftstrøm	$0,36 \text{ l/s/m}^2$ ($0,5 \text{ h}^{-1}$)	$0,34 \text{ l/s/m}^2$ ($0,5 \text{ h}^{-1}$)
Infiltration	Inkluderet i ventilationen	$0,13 \text{ l/s/m}^2$
Kanalsystem	Intet	Placeret i uopv. loftrum
Kedel	Standard gaskedel med integreret varmtvandsbeh.	Kondens. gaskedel med separat varmtvandsbeh.
Kedelvirkningsgrad, fuldlast / dellast	85 / 83 %	98 / 106 %

3 Bestemmelse af bygningens energibehov – før og efter renoveringen

Formålet med dette kapitel er at bestemme betydningen af de gennemførte energibesparende foranstaltninger for bygningens energibehov, som beregnes ved hjælp af programmet Be06. Dermed bestemmes også bygningens energimærkning, da programmet tillige er grundlag for energikonsulenternes arbejde. Programmet Be06 er udviklet i forbindelse med indførelse af nye energibestemmelser i bygningsreglementet i 2006 [10]. Her blev kravene til nye bygninger skærpet med 25 – 30%. De nye krav betød, at en ny bygning skal overholde en fastsat energiramme. Denne angiver hvor meget energi der højst må bruges til at dække en bygning energibehov til bygningsdrift i form af opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand under hensyntagen også til evt. vedvarende energi.

Ved fastlæggelse af data i forbindelse med beregningerne er der så vidt muligt taget udgangspunkt i målte værdier og i tegningsmaterialet. Hvor disse ikke forefindes anvendes de værdier som fremgår af Håndbog for energikonsulenter [2]. Der anvendes de U-værdier for konstruktioner som fremgår af afsnit 0 i [2]. Under beregningerne anvendes desuden en række standardforudsætninger, f.eks. for rumtemperatur, brugervaner, varmetilskud fra personer og aktiviteter i bygningen og for klimaforhold. I praksis har disse forhold væsentlig betydning for det faktiske energiforbrug i bygningen, idet det viser sig at forbruget i helt ens boliger kan variere særdeles meget fra bolig til bolig afhængig af beboernes vaner. Resultaterne af beregningerne kan derfor ikke umiddelbart anvendes til bestemmelse af det faktiske forbrug og de faktiske besparelser.

3.1 Energiforbrug (Be06) før renoveringen

Først beskrives inddata, hvor beskrivelsen kronologisk følger den naturlige indtastningsrækkefølge i Be06-programmet, og efterfølgende redegøres der for beregningsresultaterne. Data vedrørende konstruktioner og systemer er beskrevet i forrige kapitel og gentages ikke her.

3.1.1 Hoveddata

Huset er et fritliggende enfamiliehus med et opvarmet etageareal på 155 m² (bruttoareal). Husets tyngde henføres til kategorien ”Middel let”, dvs. enkelte tungere dele, og der regnes således med en aktiv varmekapacitet på 80 Wh/K pr. m². Brugstiden er hele døgnet for boliger. Der anvendes månedsmiddelværdier for udeklimaet fra det danske Design Reference År, DRY. Alle rum antages opvarmet til en månedlig gennemsnitstemperatur på 20°C i alle årets måneder. Husets facade” er drejet 30° med uret i forhold til syd, så derfor er der angivet en rotation på 30°. For vinduer og døre placeret i denne facade angives orienteringen syd og tilsvarende nord for modstående facade osv., hvorved solindfaldet beregnes korrekt. Varmeforsyningen er ”kedel”.

3.1.2 Klimaskærm

Transmissionsarealer, kuldebro-længder, transmissionskoefficienter og linietaf beregnes som beskrevet i DS 418. Transmissionsarealer og kuldebro-længder beregnes som udgangspunkt som ydervæggens mål. Terrændæk måles dog til indersiden af ydervæggene. Ved beregning af ydervæggens areal anvendes højden fra oversiden af gulv på terrændækket til oversiden af isoleringen i loft. Det er som tidligere nævnt kun linietaf ved ydervægsgfundamenter som medregnes.

I Be06 anvendes temperaturfaktorer til at beskrive hvilken temperaturforskel, der virker over en bygningsdel. Temperaturfaktoren $b = 1$ er standard og svarer til indetemperatur på den ene side og udetemperatur på den anden side, hvilket gælder for de fleste bygningsdele som f.eks. ydervægge, vinduer og tagkonstruktioner. Hvis temperaturforskellen ikke svarer til indeklima på den ene side og udeklima på den anden side, anvendes en større eller mindre faktor. F.eks. anvendes en temperaturfaktor $b = 0,7$ for terrændæk.

Når der er gulvvarme i et terrændæk er temperaturfaktoren ikke 0,7. Korrektionen i temperaturfaktoren ved gulvvarme for både terrændæk og ydervægsfundament beregnes som forholdet mellem forskellen mellem gulvtemperaturen i varmerørenes plan og rumtemperaturen og forskellen på rum- og udetemperaturen. Idet der forudsættes en gulvvarmetemperatur på 50°C , kan der beregnes en korrektion på $(50 - 20)/(20 - 5) = +2,0$ svarende til en resulterende b-faktor for terrændæk med gulvvarme på $0,7 + 2,0 = 2,7$ og for ydervægsfundament bliver den $1,0 + 2,0 = 3$.

3.1.3 Ventilation

Ventilation tilvejebringes ved naturlig ventilation. Infiltrationen indgår i beregningerne. Se kapitel 2 om konstruktioner og systemer.

3.1.4 Internt varmetilskud

I boliger kan der i brugstiden antages et gennemsnitligt varmetilskud fra personer på $1,5 \text{ W/m}^2$ og $3,5 \text{ W/m}^2$ fra apparatur inkl. belysning, hvis krav til et minimums- og maksimumtilskud er opfyldt, hvilket det er for det aktuelle hus.

3.1.5 Skygger

Der er i modellen taget højde for skygger iht. reglerne, dvs. der angives horisontvinkel, vinkel til udhæng, vinkel til venstre hhv. højre fals samt vinduesfalsens dybde i forhold vinduets bredde/højde. Der er kun begrænsede skyggevirksomheder på grund af relativt lille tagudhæng og vinduer der er placeret helt ude i facaden. Der er dog nogle eksterne skygger (horisontvinkel), idet huset er placeret på forholdsvis lille grund med naboer tæt på.

3.1.6 Varmefordelingsanlæg

Varmefordelingsanlægget er 2-strengt og der forudsættes dimensionerende frem- og returløbstemperaturer på hhv. 80°C og 40°C . Varmefordelingsrørene er antages generelt for at være placeret i terrændækkets periferi under betonklaplaget. Rørlængden kan bestemmes ud fra "Energihåndbogen" [2] angivelse af rørlængde for 2-strengede radiatoranlæg: $4 \times \text{huslængde} + 2 \times \text{husbredde}$, svarende til en rørlængde på 91 m.

Varmerørenes placering resulterer i et ekstra varmetab. Dette varmetab er beregnet detaljeret i forbindelse med beregning af linietab for ydervægsfundamenter ved at regne på de enkelte fundamentsdetaljer med og uden varmerør. Forskellen mellem varmetabet med og uden varmerør udgør det ekstra varmetab. I Tabel 6 er vist resultater af beregning af varmetab fra varmerør samt korrigerede varmetab til brug i Be06. Der regnes ikke med at cirkulationen i rørstrækningen stoppes om sommeren

Tabel 6. Varmetab fra varmemfordelingsrør.

	Varmetab pr. meter [W/mK]	Varmetab pr. meter til brug i Be06 [W/mK]	b-faktor
Før renovering, frem/retur = 80/40	0,36	0,083	1
Efter renovering, frem/retur = 55/40	0,31	0,093	1

Det beregnede varmetab er baseret på middeltemperaturen mellem inde og ude, mens Be06 regner med en forskel i temperaturen på radiatorvandet og ude. Derfor skal varmetabet reduceres med en faktor, der tager hensyn til dette forhold, dvs. $(20-8)/(70-8) = 0,231$ for før-situationen og 0,304 for efter-situationen. Denne faktor multipliceres med det beregnede varmetab, hvorved det korrekte varmetab til brug i Be06 neregnes. Temperaturfaktoren b for rørplaceringen sættes i Be06 til 1 svarende til at hele rørtabet indgår som tab, svarende til at det korrekte beregnede ekstra varmetab medregnes.

Udover varmetab fra varmemfordelingsrør, medtages der varmetab fra tilslutningsrør i bryggers (kedel til terrændæk).

Den eksisterende cirkulationspumpe er af typen kombi-pumpe, som cirkulerer vand til rumopvarmning og til varmtvandsbeholderen. Den er en ureguleret Pumpe med tre omdrejningshastigheder, der kan indstilles manuelt, dvs. der angives en reduktionsfaktor $F_p = 0,8$. Den nominelle effekt P_{norm} på højeste trin er 60 W.

3.1.7 Varmt brugsvand, kedel og varmtvandsbeholder

I boliger kan der i brugstiden antages et gennemsnitligt jævnt fordelt årligt forbrug af varmt brugsvand på 250 liter pr. m^2 (opvarmet fra 10 til 55°C). Varmetabet fra den delvist isolerede varmtvandsbeholder medtages svarende til de tidligere anført varmetekniske data. Kedlens nominelle effekt / ydelse er 12 kW. Da der er tale om en kedelunit med kombipumpe, hvor vandstrømme skifter mellem rumopvarmning og opvarmning af varmt brugsvand, sættes andelen af kedeffecten til varmt brugsvand til 1,0.

Som nævnt anvendes standarddata fra Håndbog for energikonsulenter 2008 [2]. Der anvendes data for en kedel i kategorien ”ældre, middel” og ydelse på under 20 kW, svarende til nominelle virkningsgrader på 85 % ved fuldlast (100%) og 83 % ved delast (30%). Minimum kedeltemperatur er sat til 0°C efter reglerne for kedler uden nogen nedre temperaturgrænse. Da kedlen er placeret i den opvarmede del af huset er temperaturfaktoren b for opstillingsrummet således 0. Der antages et elforbrug til automatik på 15 W.

3.1.8 Bygningens energibehov før renoveringen

Det samlede energibehov (Be06) for huset før energirenoveringen er beregnet til **272 kWh/m²/år**.

3.2 Energibehov (Be06) efter renoveringen

I dette kapitel anføres kun de ændringer der er foretaget i beregningerne i forhold til før situationen.

3.2.1 Hoveddata

Da huset er udvendigt efterisoleret er bruttoarealet steget fra 155 til 161 m².

3.2.2 Klimaskærm

Transmissionsarealer, kuldebrolængder, transmissionskoefficienter og linietaf beregnes som beskrevet i DS 418 [5]. I afsnit 7.3 er anført de U-værdier der anvendes i Be06-beregningerne. I kapitel 5 er der i detaljer redegjort for varmetabsberegningerne.

Varmetab for ventilationskanaler, der er ført i det uopvarmede loftrum, er medtaget under fundamenter og samlinger ved vinduer. Ventilationskanalerne regnes at indgå som en del af klimaskærmen med en temperaturfaktor $b = 1,0$, svarende til at forskellen i temperatur på luften i kanalerne og i loftrummet antages at svare til forskellen mellem ude- og indetemperatur. Dette er en rimelig antagelse, som er lidt på den sikre side, idet kanaltemperaturen er omtrent lig med indetemperaturen, mens den er lidt højere i loftrummet ift. udetemperaturen, hvorved temperaturforskellen typisk vil være lidt mindre end temperaturforskellen mellem ude og inde.

3.2.3 Ventilation

Ventilation tilvejebringes ved mekanisk ventilation med effektiv varmegenvinding, så der ikke er behov for en varmeplade. I henhold til bygningsreglementets krav skal der fjernes indeluft fra køkken, bad, bryggers og wc, svarende til 20, 15, 10 og 10 l/s, dvs. i alt 55 l/s.

Husets indvendige rumvolumen er 400 m³, således at de 55 l/s svarer til et luftskifte på 0,5 gange pr. time (h⁻¹). Bygningsreglementets minimumskrav er et luftskifte på mindst 0,5 h⁻¹, som i dette tilfælde er afgørende for fastsættelse af det beregningsmæssige luftskifte. Et luftskifte på 0,5 h⁻¹ svarer til 0,34 l/s/m² for den aktuelle bygning. Dette luftskifte har været grundlag for indreguleringen af anlægget.

Derudover skal der regnes med en infiltration via utætheder i klimaskærmen og tilfældig åbning af vinduer og døre. Denne er bestemt ved måling til 0,13 l/s/m² (se kapitel 2). Som der tidligere er redegjort for kan der regnes med en temperaturvirkningsgrad for varmegenvindingen på 85 % samt et elforbrug på 1,0 kJ/m³.

Der regnes med det samme mekaniske luftskifte om sommeren. Der tages dog hensyn til en forøget naturlig ventilation om sommeren. Uden dokumentation for højere værdi, kan der regnes med 0,9 l/s/m² i brugstiden som gennemsnit i varme sommerperioder. Det har ikke vist sig nødvendigt med yderligere dokumentation, da bygningen ikke oplever problemer med høje indetemperaturer i sommerperioden.

3.2.4 Varmefordelingsanlæg

Der forudsættes en lavere fremløbstemperatur på 55°C, som følge af det betydeligt nedsatte varmetab og dermed varmebehov. Den nye cirkulationspumpe, som er en integreret del af kedlen, har en nominelle effekt, P_{nom} på 79 W, som er optagne el-effekt på højeste trin - inkl.

reguleringsudstyr og automatik. Pumpen er automatisk styret og reduktionsfaktoren, F_p , er således 0,4. Varmetab fra varmerør er der redegjort for i kapitel 3.1.

3.2.5 Varmt brugsvand, kedel og varmtvandsbeholder

Varmetekniske data for kedel og varmtvandsbeholder til brug i Be06 fremgår af bilag 2.

Det antages at 80 % af kedlens varmetab tilføres opstillingsrummet – jf. Håndbog for Energikonsulenter. Da den nye kedel og varmtvandsbeholder er placeret i den opvarmede del af huset, er temperaturfaktoren b for opstillingsrummet 0. Varmetabet fra varmtvandsbeholderen angives af producenten til 1,40 kWh/24h ved en temperaturforskel på 45 K. Omregnet fås et varmetab på 1,30 W/K til brug i Be06.

Der ses bort fra varmetab og elforbrug til cirkulation af varmt brugsvand, da beregningen af energibehovet skal bruges til at sammenligne med standard energirammen for nye huse, hvor det ikke er normalt at anvende cirkulation. Desuden skal det bemærkes at det ikke umiddelbart er muligt at modellere andet end konstant cirkulation.

3.2.6 Bygningens energibehov (Be06) efter renoveringen

Det samlede energibehov efter energirenoveringen er beregnet til **109 kWh/m²/år**, når der ses bort fra at bygningen er blevet forsynet med cirkulation på det varme vand og nye tagvinduer. Energirammen for et nyt hus i tilsvarende størrelse opført efter de gældende energibestemmelser er 88,9 kWh/m²/år (inkl. tillæg for højt luftskifte)

4 Beregningsresultater og diskussion af energibehov

Energiberegninger på huset før og efter energirenoveringen sammenfattes, sammenlignes og kommenteres i det følgende.

4.1 Energibesparelser for de enkelte energisparetiltag

Energibesparelser for de enkelte tiltag er interessant. Her er effekten på bygningens energibehov af besparelserne beregnet som i Energimærkningsordningen. Effekten af den samlede besparelse kan ikke umiddelbart bestemmes ved blot at regne på de enkelte tiltag separat, da summen af de enkelte besparelser vil være større end energibesparelsen baseret på en samlet beregning hvor alle tiltag indgår. Dette skyldes, at når kun enkelttiltag betragtes er varmetabet betydeligt og der vil i fyringssæsonen sjældent opstå perioder med varmeoverskud og dermed ingen varmebehov pga. varmetilskud fra solindfald mv. Perioder med varmeoverskud og dermed dårligere udnyttelse af f.eks. efterisolering, vil forekomme oftere, når der regnes på alle tiltag, idet varmetabet er betydeligt mindre. Den samlede besparelse vil derfor være større end summen af de enkelte besparelser.

Effekten af alle energisparetiltag er bestemt som forskellen i energibehov før renoveringen og efter den samlede renovering. Endelig er bestemt effekten på bygningens energibehov af de to komfortforbedrende tiltag: nye tagvinduer i stuen og cirkulation på det varme brugsvand.

Energibesparelserne for de enkelte energisparetiltag og samlede tiltag fremgår af Tabel 7.

Tabel 7. Husets energibehov og den opnåede nedsættelse i energibehovet, hvis effekten af besparelsestiltaget beregnes enkeltvis for tiltagene samt beregnet for den samlede renovering.

Energisparetiltag	Energibehov [kWh/m ² /år]	Nedsættelse af energiebehov [kWh/m ² /år]	Energi- besparelse [%]
Isolering af klimaskærm	226	45	26
Nye vinduer	227	45	26
Ændret ventilation	232	39	23
Ny kedel	236	35	20
Lavtemperatur drift	262	9	5
Energibesparelse i alt (beregnet enkeltvis)		173	100
Energibehov før renoveringen (samlet)	272		
Energibehov efter renoveringen (samlet)	109	163	60
Energibehov efter renoveringen inkl. komfortforbedringer ¹⁾	121	151	55
Energibesparelse i alt (samlet)		163	60
Energibesparelse i alt (samlet) inkl. komfortforbedringer		151	55

¹⁾ Bygningsejeren valgte i forbindelse med projektet at forbedre komforten gennem installation af cirkulation på det varme brugsvand og installation af tagvinduer. Dette har indflydelse på bygningens energibehov efter renoveringen

Som det fremgår af Tabel 7 er husets energibehov før og efter renoveringen reduceret fra 272 til 109 kWh/m²/år eller svarende til en reduktion på 60 %. Energiebehovet efter renoveringen nærmer sig niveauet for et tilsvarende nyt hus. Hvis komfortforbedringer i form af tagvinduer og cirkulation af varmt brugsvand tages med i beregningerne bliver energibehovet 121

kWh/m²/år. Varmetabet ved cirkulation af varmt brugsvand er overslagsmæssigt fastsat til 50 % af tabet ved varmefordeling i både før og eftersituationen. Det skal dog bemærkes, at der er stor usikkerhed forbundet med dette skøn.

Det fremgår ligeledes af Tabel 7, at energibesparelsen ved efterisolering af klimaskærmen og de nye vinduer hver især bidrager med 26 % til den samlede energibesparelse. Den ændrede ventilation, hvor naturlig ventilation er erstattet af balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding, giver anledning til en reduktion på 11 %. Denne relativt beskedne reduktion skyldes ikke en dårlig varmegenvinding, men derimod et elforbrug til ventilatorer og en infiltration gennem utætheder i klimaskærmen, som er regnet oveni i den mekaniske ventilation, og som går uden om anlægget, dvs. der varmegenvindes ikke på denne del af luftsiftet.

Det skal bemærkes, at det beregningsmæssigt umiddelbart ikke er forkert at regne med at infiltrationen er en del af indblæsningen, således at den beregningsmæssige mekaniske indblæsningsluftmængde reduceres med infiltrationen, hvilket vil øge energibesparelsen. Men under hensyntagen til den praktiske udformning og indregulering af typiske mekaniske ventilationsanlæg i parcelhuse, vil det være mere rimeligt at undlade at nedsætte indblæsningen.

Det gælder generelt for de isoleringsmæssige tiltag og ændret ventilation, at indeklimaet alt andet lige forbedres, hvilket skal med i den samlede vurdering af tiltagene. Indeklimaet vil være forbedret mht. færre kolde overflader, færre trækgener fra ventilation, mere konstant luftskifte (næsten) uafhængigt af vind og vejr, mulighed for behovstyring mv.

For varmeanlæggets vedkommende har den nye kondenserende gaskedel (inkl. ny varmtvandsbeholder) resulteret i en energibesparelse på 20 %, mens den lavere fremløbstemperatur har resulteret i et lavere varmetab svarende til en energibesparelse på 5 %.

Beregningerne viser at energibesparelsen for den aktuelle renovering resulterer i energibesparelser med hensyn til klimaskærm, ventilationsanlæg og varmeanlæg på henholdsvis ca. 50, 25 og 25 %.

4.2 Energimærkning af bygningen før og efter renovering

Energimærkningsordningen for ejendomme blev revideret i 2006 og er senere justeret i flere omgange senest i 2008. Energimærkningsordningen anvendes til at synliggøre bygningers energibehov således at køber og lejere kan sammenligne ejendomme med hinanden på et fælles grundlag. Energimærkningen foretages derfor på et standardiseret grundlag, således at ”tilfældige” brugeres vaner ikke influerer på resultatet. Tabel 8 viser de enkelte skalatrin for energimærkningsordningen.

Tabel 8. Skalatrin for energimærkning [2]

Skalatrin	Grænseværdi i kWh/m ² pr. år.
A	$< 50 + 1600/A$
B	$< 70 + 2200/A$
C	$< 110 + 3200/A$
D	$< 150 + 4200/A$
E	$< 190 + 5200/A$
F	$< 240 + 6500/A$
G	$> 240 + 6500/A$

For det aktuelle hus (155 m²) betyder det at grænseværdierne er:

A: $< 60 \text{ kWh/m}^2$
 B: $< 84 \text{ kWh/m}^2$
 C: $< 131 \text{ kWh/m}^2$
 D: $< 177 \text{ kWh/m}^2$
 E: $< 224 \text{ kWh/m}^2$
 F: $< 282 \text{ kWh/m}^2$
 G: $> 282 \text{ kWh/m}^2$

Kravet i bygningsreglement 2008 til nye bygninger af den aktuelle størrelse er at energibehovet skal være mindre end 84 kWh/m^2 .

Energibehovet for huset efter energirenoveringen er altså blevet reduceret til omtrent niveauet for nye huse anno 2008. Huset har opnået en energimærkning før og efter energirenoveringen svarende til henholdsvis F og C, så der er tale om en væsentlig forbedring.

Yderligere energibesparelser kunne være opnået ved efterisolering af terrændækket, men tiltaget blev vurderet til at være for omfattende og dyrt. Beregninger viser at husets energibehov kunne være bragt ned til $80,6 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$ altså under energirammen for nye bygninger, hvis der udføres en renovering af terrændækket i form af en ny gulvkonstruktion med gulvvarme isoleret svarende til kravet til nybyggeri ($U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$) med varmerør ført indenfor klimaskærmen.

5 Varmetab før og efter renoveringen

I dette kapitel redegøres for beregning af konstruktionernes transmissionskoefficienter og linietaf. Konstruktionerne er beskrevet i kapitel 2. Beregningerne sammenfattes sidst i kapitlet til samlede varmetabskoefficienter og dimensionerende varmetab før og efter renoveringen.

Grundlaget for beregningerne er Håndbog for energikonsulenter 2008 [2] samt DS418: Beregning af bygningers varmetab [5]. Kuldebroeffekter er beregnet vha. de detaljerede beregningsprogrammer HEAT2 [11] og THERM [12].

DS418 [5] foreskriver at transmissionsarealerne skal opgøres på baggrund af udvendige mål. Konkret svarer det til at ydervægges arealer beregnes som produktet af udvendige vandrette mål til ydersiden af ydervæggene, og højden fra overside af gulvet på terrændækket til oversiden af isoleringen på loftet. Loftets transmissionsareal beregnes fra ydersiden af ydervæggene. For terrændækket anvendes indvendige mål.

”Håndbogen” [2] beskriver at der for eksisterende bygninger kun medtages linietaf for ydervægsgundamenter og kælderydervægsgundamenter, og at der kan ses bort fra linietaf for samlinger omkring vinduer og døre. For det pågældende hus, der ikke har kælder, medtages derfor kun linietaf for ydervægsgundamenter. Længden af ydervægsgundamenterne beregnes som den ydre omkreds, der er det samme som husets omkreds.

Metoden til opgørelse af transmissionsarealerne (generelt udvendige mål) medtager simpelt effekten af kuldebroer ved at regne med et større transmissionsareal end reelt. Metoden er udformet så det dimensionerende varmetab med tilnærmelse bliver lig med bygningens virkelige varmetab under stationære forhold ved de angivne indvendige og udvendige klimabetingelser.

5.1 Beregning af konstruktioner før renoveringen

5.1.1 Ydervægge

Transmissionskoefficienten for ydervæg beregnes iht. afs. 6.7 i DS418 (konstruktioner med kuldebroer). Der tages hensyn til den reducerede isoleringstykkelse og isoleringsspring i form af udmuringer i periferien af de tunge ydervægspartier. U-værdier skal korrigeres for luftspalter i isoleringen og murbindere (jf. Anneks A i DS418).

For de tunge ydervægspartier foretages ingen korrektion for luftspalter, da der forudsættes ét lag isolering fastholdt mod plan flade på den varme side, som er niveau 0, dvs. U'' er lig med $0 \rightarrow \Delta U_g = 0$. Korrektion for murbindere, ΔU_f , kan bestemmes ud fra formel i ovennævnte Anneks A i DS418. Der er forudsat anvendt 8 stk. galvaniserede Ø4 mm pr. m^2 . Korrektionen kan beregnes til 0,044 W/ m^2K for bagmur i kalksandsten og 0,029 for bagmur i porebeton.

Tabel 9. U-værdi for tung ydervæg med bagmur i kalksandsten.

Isoleret mur	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Bagmur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,110	1,400	0,08
Isolering	0,075	0,038	1,95
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,110	1,650	0,07
		$\Sigma R =$	2,29
		$U' =$	0,437
Korrektion for luftspalter (niveau 0), ΔU_g			0
Korrektion for murbindere, ΔU_f			0,044
Resulterende U-værdi			0,48

Tabel 10. U-værdi for tung ydervæg med bagmur i porebeton.

Isoleret mur	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Porebeton (650 kg/m ³)	0,100	0,160	0,63
Isolering	0,075	0,038	1,97
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,110	1,65	0,07
		$\Sigma R =$	2,84
		$U' =$	0,353
Korrektion for luftspalter (niveau 0), ΔU_g			0
Korrektion for murbindere, ΔU_f			0,029
Resulterende U-værdi			0,38

For lette ydervægspartier foretages korrektion for luftspalter, idet de henføres til niveau 1, da der er mulighed for luftspalter på tværs af isoleringslaget mellem isoleringskassetterne. Det vil sige at U'' er lig med 0,01 $\rightarrow \Delta U_g = 0,008 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabel 11. U-værdi for let ydervæg.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Karlit (700 kg/m ³)	0,012	0,180	0,07
Oprindelig isolering, 10 % træ	0,100	0,046	2,17
Efterisolering, 10 % træ	0,100	0,046	2,17
Træbeklædning			0,16
		$\Sigma R =$	4,74
		$U' =$	0,211
Korrektion for luftspalter (niveau 1), ΔU_g			0,008
Resulterende U-værdi			0,22

Nedenfor følger U-værdi beregninger for rem og udmuringer.

Tabel 12. U-værdi for uisoleret rem.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Rem i limtræsbjælke (450 kg/m ³)	0,090	0,120	0,75
			$\Sigma R = 0,92$
			U = 1,087

Tabel 13. U-værdi for udmuringer, bagmur i kalksandsten.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Bagmur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,110	1,400	0,08
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,075	1,525	0,05
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,110	1,650	0,07
			$\Sigma R = 0,36$
			U = 2,75

Tabel 14. U-værdi for udmuringer, bagmur i porebeton.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Porebeton (650 kg/ m ³)	0,100	0,160	0,63
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,075	1,650	0,05
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,110	1,650	0,07
			$\Sigma R = 0,91$
			U = 1,10

Tabel 15. Beregning af U-værdi for ydervæg, hvor der korrigeres for udvendige mål. Det beregningsmæssige transmissionsareal beregnes af yderside ydervægge og overside af isoleringslaget i tag-/loftkonstruktionen.

Fladebidrag	U [W/m ² K]	A [m ²]	U·A [W/K]
Tung ydervæg, tegl	0,48	23,6	11,4
Tung ydervæg, porebeton	0,38	17,0	6,5
Let ydervæg	0,22	28,8	6,3
Isoleret væg i alt (faktisk areal)	0,35	69,4	24,1
Isoleret væg i alt (beregningsmæssigt areal)	0,35	80,6	28,1
Rem	1,09	16,1	17,5
Udmuring, tegl	2,74	1,8	5,0
Udmuring, porebeton	1,10	0,8	0,9
Rem og udmuringer i alt	1,25	18,8	23,4
Liniebidrag	Ψ-værdi [W/mK]	L [m]	Ψ·l [W/K]
Isoleringsspring, tegl-tegl	0,05	16,2	0,8
Isoleringsspring, tegl-porebeton	0,03	12,8	0,4
Liniebidrag i alt			1,2
	U	ΣA	ΣU·A+ Ψ·l
Ydervæg i alt	0,53	99,4	52,7

5.1.2 Vinduer

Den samlede U-værdi for vinduer og yderdøre beregnes på følgende måde:

$$U = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

Transmissionskoefficienter og arealer fremgår af kapitel 2. Det skal bemærkes at kalfatringsfugen (fuge mellem vindue og ydervæg) tillægges samme transmissionskoefficient som selve vinduet eller døren, dvs. U-værdier beregnes på baggrund af vinduesmål, mens dimensionerende varmetab beregnes på baggrund af disse U-værdier, men ved anvendelse af hulmål. U-værdier for vinduer og døre er anført i Tabel 16.

Tabel 16. Beregnede varmetekniske data for vinduer og døre før renoveringen i form af U-værdi for rude (U_g) og ramme-karm (U_f), linietafet pga. afstandsprofil i rudekanten (Ψ_g) samt den resulterende arealvægtede U-værdi.

Vindues-/dørtype	Antal [stk.]	B [m]	H [m]	U_g [W/m ² K]	U_f [W/m ² K]	Ψ_g [W/mK]	U [W/m ² K]
Vinduer, værelser N	1	1,20	1,20	2,80	1,820	0,07	2,78
Vindue, køkken S/N	6	1,20	1,45	2,80	1,820	0,07	2,74
Glasparti, stue N	1	3,00	2,12	2,80	1,896	0,07	2,75
Glasparti, stue V (nedre del)	1	7,94	2,12	2,80	1,900	0,07	2,83
Glasparti, stue V (øvre del)	1	3,97	1,85	2,80	1,900	0,07	2,89
Udvendige døre	2	0,90	2,12	2,80	1,820	0,07	2,69
Arealvægtet middel værdi							2,81

Det ses at den arealvægtede U-værdi for husets vinduer og døre er 2,81 W/m²K. Dette svarer til rudens U-værdi, dvs. varmetabet fra rude og ramme-karm (inkl. rudekant) er det samme. For typiske nye vinduer med energirude er varmetabet fra ramme-karm væsentligt større end fra ruden.

5.1.3 Terrændæk

Terrændækkets midterfelt har 30 mm isolering, mens de yderste 1 m af terrændækket samt gulv i baderum med gulvvarme har ekstra 20 mm isolering, dvs. i alt 50 mm isolering. Effekten af den lille merisolering i randfeltet er medtaget i beregningen af fundamentets linietaf (se kapitel 5.1.5).

DS418 angiver at materialelag og overgangsisolanser over varmeafgiveren (gulvvarmeslangerne) i terrændæk med gulvvarme ikke skal regnes med i U-værdien. Gulvvarmeslangerne antages placeret i den nederste del af betonlaget og det vil derfor være rimeligt at se bort fra betonlagets lille isolansbidrag.

Tabel 17. U-værdi for terrændækkets midterfelt

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans indvendig			0,17
Jordisolans			1,50
Groft grus	0,200	2,000	0,10
Klaplag	0,100	2,000	0,05
Isolering	0,030	0,038	0,79
Afretning	0,070	2,000	0,04
Gulvbrædder	0,022	0,170	0,13
			$\Sigma R = 2,77$
			$U = 0,36$

Tabel 18. U-værdi for terrændæk med gulvarme (baderum).

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans indvendig			0,17
Jordisolans			1,50
Groft grus	0,180	2,000	0,09
Klaplag	0,100	2,000	0,05
Isolering	0,050	0,038	1,32
Afretning inkl. klinker	0,070	2,000	0,04
			$\Sigma R = 3,16$
			$U = 0,32$

Der foretages ingen korrektion: Ét lag isolering med spalter < 5 mm er forudsat.

5.1.4 Tag/loft

For den plane del af loftet, som allerede er efterisoleret, foretages der ingen korrektion for luftspalter, da isoleringen ligger i to lag med forskudte samlinger (niveau 0).

Tabel 19. U-værdi for vandret loft.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,14
Tagrum + tagbeklædning (eternittag)			0,20
Efterisolering	0,200	0,037	5,41
Isolering/træ	0,100	0,046	2,17
Spredt forskalling			0,16
Listeloft	0,012	0,120	0,10
			$\Sigma R = 8,18$
			$U = 0,12$

Der foretages derimod korrektion for luftspalter for loft til kip, idet isoleringen ligger i ét lag mellem spærflødder uden fastklemning (niveau 2). Det vil sige at U'' er lig med 0,04 $\rightarrow \Delta U_g = 0,027 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabel 20. U-værdi for loft til kip.

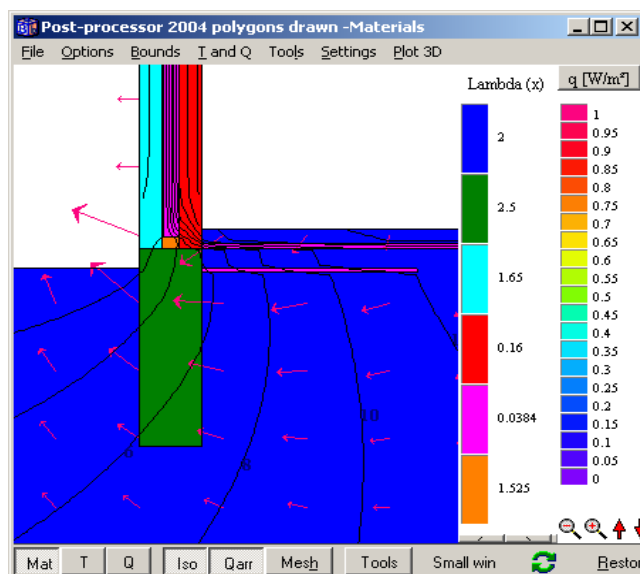
	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,14
Tagrum + tagbeklædning (eternittag)			0,20
Isolering (vingemåtter)	0,100	0,046	2,17
Brædder/lister på klink	0,015	0,120	0,13
			$\Sigma R = 2,64$
			$U = 0,379$
Korrektion for luftspalter (niveau 2), ΔU_g			0,027
Resulterende U-værdi			0,41

5.1.5 Linietaf for ydervægsfundamenter

I Håndbog for energikonsulenter 2008 findes et bilag med linietaf for typiske ydervægsfundamenter. Dette benyttes dog ikke i dette projekt, idet der er behov for mere detaljerede metoder for at belyse kuldebroeffekterne og energibesparelsen ved efterisolering. Linietafet for fundamenter beregnes derimod i henhold til metoden beskrevet i annek D til DS418 [5].

Metoden foreskriver opbygning af et udsnit af ydervæg, fundament, terrændæk og jordvolumen. Linietafet findes ved at beregnes den samlede todimensionale varmestrøm gennem fundamentet samt de nederste 1,5 m af ydervæggen og de yderste 4 m af terrændækket og herfra fratrække de tilsvarende endimensionale varmestrømme gennem ydervæg og terrændæk. Ved bestemmelse af disse fradrag, benyttes for terrændækket U-værdien for normaldelen og for ydervæggen benyttes U-værdien for et normalsnit. Derved indregnes den lille effekt af den ekstra isolering i randfeltet samt gennemmuringen i bunden af de tunge ydervægspartier i linietafet for fundamentet.

I Figur 5 er vist et eksempel på en modelleret fundamentsdetalje (HEAT2), der viser isotermer og indikerer hvor de største varmestrømme forekommer.



Figur 5. Eksempel på fundamentsdetalje ved tung facade

Der henvises til sammenfatningen i kapitel 5.3 for en oversigt over de beregnede linietaf for ydervægsfundamenter.

5.2 Beregninger af konstruktioner efter reoveringen

5.2.1 Ydervægge

Der er i beregningerne set bort fra murbindere i den eksisterende væg, idet den kuldebro de udgjorde efter reovering er blevet brudt i kraft af den udvendige isolering.

Tabel 21. U-værdi for tung ydervæg med bagmur af kalksandsten.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Bagmur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,110	1,400	0,08
Eksisterende isolering	0,075	0,038	1,95
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,110	1,650	0,07
Rockwool Facadebatts	0,100	0,038	2,63
Rockwool Systempuds	0,015	0,500	0,03
			$\Sigma R = 4,93$
			$U = 0,20$

Tabel 22. U-værdi for tung ydervæg med bagmur af porebeton.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Porebeton (650 kg/m ³)	0,100	0,160	0,63
Eksisterende isolering	0,075	0,038	1,95
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/m ³)	0,110	1,650	0,07
Rockwool Flex Systemvæg	0,150	0,035	4,29
Rockpanel på klink			0,16
			$\Sigma R = 7,26$
			$U = 0,14$

Tabel 23. U-værdi for let ydervæg.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Karlit (700 kg/m ³)	0,012	0,180	0,07
Super A-batts i eksisterende træskelet (10% træ)	0,100	0,043	2,35
OSB-plade (600 kg/m ³)	0,015	0,160	0,09
OSB-plade (600 kg/m ³)	0,018	0,160	0,11
Rockwool Flex Systemvæg	0,200	0,035	5,71
Rockpanel på klink			0,16
			$\Sigma R = 8,55$
			$U = 0,12$

Tabel 24. Rem ved tunge facader.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Rem i limtræsbjælke (450 kg/m ³)	0,090	0,120	0,75
Rockwool Super A batts	0,200	0,034	5,88
Rockwool Facadebatts	0,100	0,038	2,63
Rockwool Systempuds	0,015	0,500	0,03
			$\Sigma R = 9,46$
			$U = 0,11$

Tabel 25. Rem ved lette facader.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Rem i limtræsbjælke (450 kg/m ³)	0,090	0,120	0,75
Rockwool Flex Systemvæg	0,200	0,035	5,71
Rockpanel på klink			0,16
			$\Sigma R = 6,79$
			U = 0,15

Tabel 26. U-værdi for udmuringer, bagmur i kalksandsten.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Bagmur af kalksandsten (1800-2000 kg/ m ³)	0,110	1,400	0,08
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/ m ³)	0,075	1,525	0,05
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/ m ³)	0,110	1,650	0,07
Rockwool Facadebatts	0,100	0,038	2,63
Armeret systempuds	0,015	0,500	0,03
			$\Sigma R = 3,03$
			U = 0,330

Tabel 27. U-værdi for udmuringer, bagmur i porebeton.

	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Porebeton (650 kg/m ³)	0,100	0,160	0,63
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/ m ³)	0,075	1,650	0,05
Formur af kalksandsten (1800-2000 kg/ m ³)	0,110	1,650	0,07
Rockwool Flex Systemvæg	0,150	0,035	4,29
Let beklædning på underlag af brædder			0,16
			$\Sigma R = 5,35$
			U = 0,187

Tabel 28. Beregning af U-værdi for ydervæg, hvor der korrigeres for udvendige mål. Det beregningsmæssige transmissionsareal beregnes af yderside ydervægge og overside af isoleringslaget i tag-/loftkonstruktionen.

Fladebidrag	U [W/m ² K]	A [m ²]	U·A [W/K]
Tung ydervæg, tegl	0,20	22,2	4,5
Tung ydervæg, porebeton	0,14	17,6	2,4
Let ydervæg	0,12	30,7	3,6
Isoleret væg i alt (faktisk areal)	0,15	70,4	10,5
Isoleret væg i alt (beregningsmæssigt areal)	0,15	90,2	13,4
Rem, tung væg	0,11	5,7	0,6
Rem, let væg	0,15	5,6	0,8
Rem, glasparti i gavl	1,09	3,1	3,4
Udmuring, tegl	0,33	1,8	0,6
Udmuring, porebeton	0,19	1,3	0,2
Rem og udmuringer i alt	0,32	17,6	5,7
Liniebidrag	Ψ-værdi [W/mK]	L [m]	Ψ·l [W/K]
Isoleringsspring	0,03	29,1	1,0
Liniebidrag i alt			1,0
	U	ΣA	ΣU·A+ Ψ·l
Ydervæg i alt	0,19	107,8	20,1

5.2.2 Vinduer

U-værdier for vinduer og yderdøre fremgår af Tabel 29. Den samlede gennemsnitlige U-værdi efter renoveringen er så lav som 1,05 W/m²K. Den tilsvarende værdi for huset før energirenoveringen var 2,81 W/m²K.

Tabel 29. Beregnede varmetekniske data for vinduer og døre efter renoveringen i form af U-værdi for rude (U_g) og ramme-karm (U_f), linielabet pga. afstandsprofilen i rudekanten (Ψ_g) samt den arealvægtede U-værdi.

Vindues-/dørtype	Antal [stk.]	B [m]	H [m]	U _g [W/m ² K]	U _f [W/m ² K]	Ψ _g [W/mK]	U [W/m ² K]
Vindue, køkken	1	1,15	1,11	1,16	1,44	0,041	1,36
Vinduer, værelser S	3	1,15	1,37	1,16	1,44	0,041	1,34
Vinduer, værelser N	3	1,15	1,37	1,16	1,44	0,041	1,34
Glasparti N	1	3,00	2,12	0,52	1,90	0,060	1,04
Glasparti V, nedre del	1	7,96	2,12	0,52	1,90	0,060	0,90
Glasparti V, øvre del	1	3,98	1,87	0,52	1,90	0,060	0,97
Udvendige døre	2	0,86	2,12	1,16	0,51	0,060	0,71
Tagvinduer	2	0,78	1,18	1,16	2,35	0,060	1,80
Arealvægtet middelværdi							1,05

5.2.3 Tag/loft

Loft til kip (halvdelen af huset) efterisoleres ved at fjerne eksisterende isoleringsmåtter og udføre en højisolert konstruktion udadtil, svarende til at den oprindelige indvendige

beklædning af relativ høj æstetisk kvalitet bibeholdes, og at der vil være spring i tagkonstruktionen (se rapportens forside billede).

Tabel 30. U-værdi for loft til kip.

	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,14
Tagbeklædning (eternittag)			0,20
Super A-batts mellem nye spær, 10 % træ	0,295	0,043	8,68
Super A-batts mellem oprindelige spær, 10 % træ	0,150	0,043	4,41
Lister på klink	0,015	0,120	0,13
			$\Sigma R = 10,96$
			$U = 0,09$

5.2.4 Linietaf for ydervægsfundamenter

Der henvises til sammenfatningen i afsnit 10.3 for en oversigt over de beregnede linietaf for ydervægsfundamenter.

5.3 Sammenfatning af bygningens varmetab før og efter renoveringen

Beregningerne af husets varme før og efter renoveringen er sammenfattet i Tabel 31 og Tabel 32. Hovedresultaterne af beregningerne er en samlet varmetabskoefficient og det dimensionerende varmetab, som kort er forklaret:

Samlet varmetabskoefficient: Den summerede værdi af transmissionskoefficienter (U-værdier og Ψ -værdier) og transmissionsarealer og længde af lineære kuldebroer. Denne varmetabskoefficient omtales ofte blot som bygningens UA-værdi. Enheden er W/K.

Dimensionerende transmissionstab (eksklusiv vinduer og døre): Dimensionerende transmissionstab eksklusiv varmetabet gennem vinduer og døre. I Bygningsreglement 2008 er der krav til netop dette varmetab for nye bygninger (maks. 6 W/m²). Dette varmetab fremgår ikke direkte af tabellerne nedenfor, men kan beregnes ud fra det dimensionerende transmissionstab fratrasket transmissionstabet gennem vinduer og døre og divideret med etagearealet.

Dimensionerende varmetab: Den varmeeffekt, der skal ydes for at opretholde den fastlagte indetemperatur ved de fastlagte ydre temperaturbetingelser. Det dimensionerende varmetab består af transmissionstabet og ventilationstabet. Transmissionstabet er den varmemængde, der pr. tidsenhed strømmer gennem husets begrænsningsflader (klimaskærm) på grund af temperaturforskelle, mens ventilationstabet er den varmemængde pr. tidsenhed, som på grund af luftfornyelse i huset medgår til opvarmning af indstrømmende luft. Enheden er W.

Beregningerne viser at den samlede varmetabskoefficient er reduceret fra 385 til 156 W/K.

Det dimensionerende transmissionstab (eksklusiv vinduer og døre) er blevet reduceret fra 30,8 W/m² til 14,7 W/m². Den ”mørke” klimaskærms isoleringsevne efter renoveringen er altså et godt stykke fra at opfylde bygningsreglementets krav til nybyggeri, og det skyldes primært at terrændækket, som tidligere omtalt, ikke er blevet efterisoleret og at linietafet fra

fundamenter har et niveau på ca. 0,30 W/mK, mens nybyggeri ligger på ca. 0,15 W/mK. Til gengæld er vinduer noget bedre isoleret ($U = 1,05 \text{ W/m}^2\text{K}$) end i nye bygninger (1,50 W/m²K)

Det dimensionerende varmetab er reduceret fra 12,3 til 5,1 kW. Der er altså tale om en reduktion på ca. 60 % i varmebehovet, hvilket svarer til reduktionen i det årlige energibehov.

Tabel 31. Bygningens varmetab før renoveringen – herunder samlet varmetabskoefficient og dimensionerende varmetab

Konstruktioner	U [W/m ² K]	A [m ²]	U·A [W/K]	ΔT [°C]	Φ [W]
Ydervæg	0,53	99,4	52,7	20-(-12)	1.686
Terrændæk	0,36	134,9	48,6	20-(-10)	486
Terrændæk med gulvvarme (baderum)	0,32	8,2	2,6	50-(-10)	104
Loft, plant	0,12	77,8	9,5	20-(-12)	304
Loft, til kip	0,41	87,8	35,6	20-(-12)	1.141
Søjle i glasparti	0,37	0,4	0,1	20-(-12)	5
Vindue, køkken N	2,78	1,5	4,1	20-(-12)	130
Vinduer, værelser S/N	2,74	10,6	29,1	20-(-12)	932
Glasparti, stue N	2,75	6,6	18,1	20-(-12)	579
Glasparti, stue V (nedre del)	2,83	17,1	48,2	20-(-12)	1.543
Glasparti, stue V (øvre del)	2,89	7,4	21,3	20-(-12)	682
Udvendige døre	2,69	3,9	10,5	20-(-12)	336
I alt			280,5		7.928
Samlinger	Ψ [W/mK]	l [m]	Ψ·l [W/K]	ΔT [°C]	Φ [W]
Fundament, tung ydervæg, bagmur af kalksandsten	0,705	12,4	8,7	20-(-12)	280
Fundament, tung ydervæg, bagmur af porebeton	0,392	3,5	1,4	20-(-12)	43
Fundament, tung ydervæg, bagmur af porebeton (baderum)	0,392	5,2	2,0	50-(-12)	125
Fundament, let ydervæg	0,770	19,4	14,9	20-(-12)	478
Fundament, vinduer til gulv	0,225	11,6	2,6	20-(-12)	83
Fundament, udvendige døre	0,770	1,8	1,4	20-(-12)	44
I alt			31,1		1.054
Dimensionerende transmissionstab:					8.982
Ventilationstab: $0,34 \cdot n \cdot V \cdot (T_i - T_e) = 0,34 \cdot 0,77 \cdot 400 \cdot (20 - (-12)) =$			104,7		3.352
Samlet varmtabskoefficient / dimensionerende varmetab			385,3		12.334

Tabel 32. Bygningens varmetab efter renoveringen – herunder samlet varmetabskoefficient og dimensionerende varmetab


Konstruktioner	U	A	U·A	ΔT	Φ
	[W/m ² K]	[m ²]	[W/K]	[°C]	[W]
Ydervæg	0,19	107,8	20,1	20-(-12)	643
Terrændæk	0,36	134,9	48,6	20-(10)	486
Terrændæk med gulvvarme (baderum)	0,32	8,2	2,6	50-(10)	104
Loft, plant	0,12	81,9	10,0	20-(-12)	320
Loft, til kip	0,09	90,9	8,3	20-(-12)	267
Søjle i glasparti	0,37	0,4	0,1	20-(-12)	5
Vindue, køkken N	1,36	1,3	1,8	20-(-12)	57
Vinduer, værelser S/N	1,34	9,6	12,9	20-(-12)	413
Glasparti N	1,04	6,4	6,7	20-(-12)	213
Glasparti V, nedre del	0,90	16,9	15,1	20-(-12)	484
Glasparti V, øvre del	0,96	7,4	7,1	20-(-12)	226
Udvendige døre	0,71	3,8	2,7	20-(-12)	86
Tagvinduer	1,80	1,9	3,5	20-(-12)	111
I alt			139,5		3.413
Samlinger	Ψ	l	Ψ·l	ΔT	Φ
	[W/mK]	[m]	[W/K]	[°C]	[W]
Fundament, tung ydervæg, bagmur af kalksandsten	0,382	12,4	4,7	20-(-12)	151
Fundament, tung ydervæg, bagmur af porebeton	0,242	3,6	0,9	20-(-12)	28
Fundament, tung ydervæg, bagmur af porebeton (baderum)	0,242	5,3	1,3	50-(-12)	79
Fundament, let ydervæg	0,311	19,7	6,1	20-(-12)	196
Fundament, vinduer til gulv	0,225	11,9	2,7	20-(-12)	86
Fundament, udvendige døre	0,332	1,8	0,6	20-(-12)	19
I alt			16,3		559
Dimensionerende transmissionstab:					3.973
Ventilationstab: $0,34 \cdot n \cdot V \cdot (T_i - T_e) = 0,34 \cdot (0,5 \cdot (1 - 0,85) + 0,19) \cdot 400 \cdot (20 - (-12)) =$			35,8		1.146
Samlet varmetabskoefficient / dimensionerende varmetab			155,7		5.119

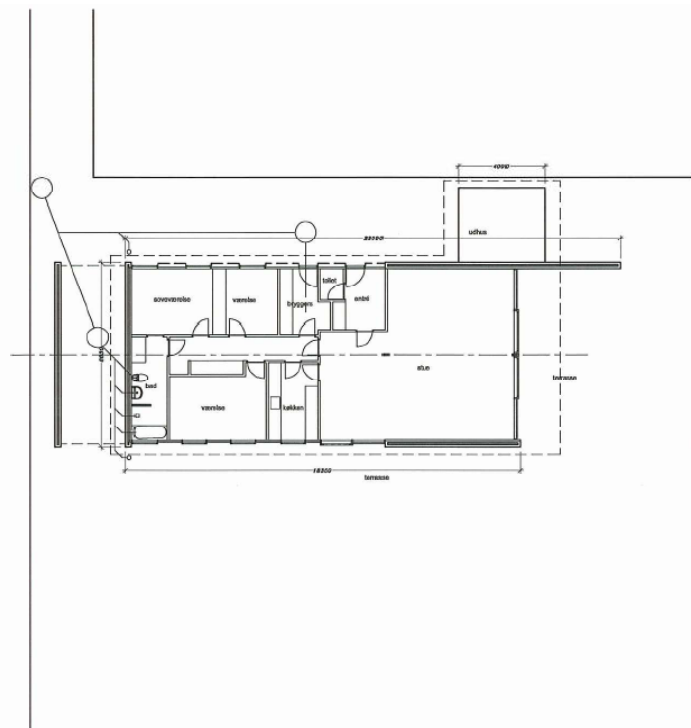
6 Referencer

- [1] Energirenovering af typisk parcelhus opført i perioden 1960-1980 – Del 2: Målinger. Rapport R-166. Henrik Tommerup, BYG.DTU, 2007.
- [2] Håndbog for energikonsulenter 2008. Energistyrelsen 2008. Kan downloades på: <http://www.femsek.dk>
- [3] Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2002/91/EF af 16. december 2002 om bygningers energimæssige ydeevne
- [4] SBi-anvisning 213: Bygningers energibehov – PC program (version 4, 8, 7, 12) og Beregningsvejledning (version 4). Statens Byggeforskningsinstitut / AAU, 2008.
- [5] DS418. Beregning af bygningers varmetab. Dansk Standard. 6.udgave 2002.
- [6] Retrofit – PFT-målinger i villa i Næstved. Notat med jour. nr. 732-014. Niels Christian Bergsøe. Afdelingen for Energi & Miljø, SBi. April 2007.
- [7] Ventilation Measurements in Næstved by the CO₂ Method. (internal report). Petra Baránková. Czech Technical University in Prague – International Centre for Indoor Environment and Energy, DTU. Juni 2007
- [8] Prüfbericht Nr. HP-05476/B. Nilan Comfort 300 Lüftungsgerät. Hochschule für Technik+Architektur Luzern. Prüfstelle HLK. 2006-06-20.
- [9] Blower door tests udført af IsoLink, Lars Due før og efter renovering hhv. juni 2005 og januar 2007.
- [10] Bygningsreglement for småhuse 1998 - Tillæg 9 og 10. Erhvervs- og byggestyrelsen 2005.
- [11] HEAT2. PC-program (version 6.0) til beregning af 2-dimensionale varmestrømme (differens-metode). Blomberg, T. Department of Building Physics, Lund University.
- [12] THERM (version 5.2). Finite Element program til beregning af to-dimensionale varmestrømme. Lawrence Berkeley National Laboratory (Berkeley, USA). 2003.

Bilag 1: Tegninger

[illegible]

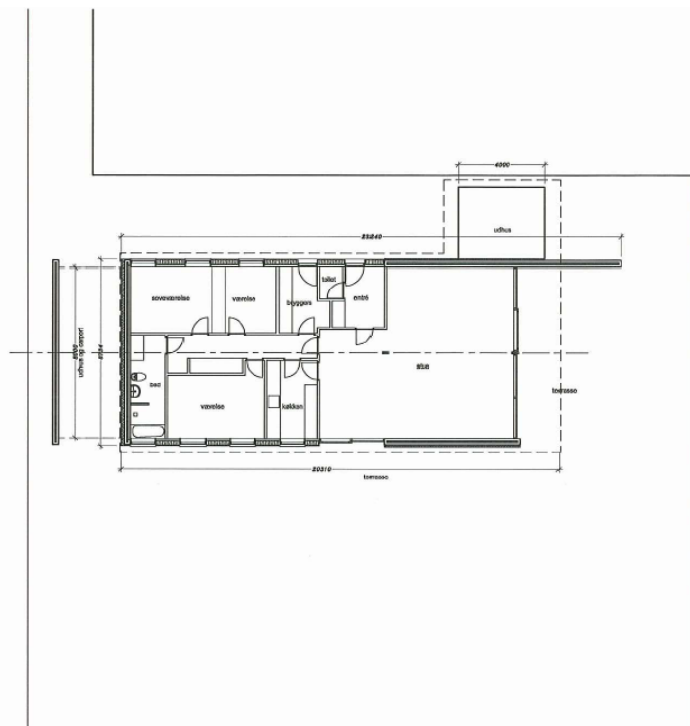
RETROFIT SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED										
TEGNINGSLISTE SOM UDFØRT										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%; padding: 5px;">BAG. NR.</td> <td style="width: 40%; padding: 5px;">KAL.</td> <td style="width: 20%; padding: 5px;">TEGN. NR.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">TEGN. DATO. 28.08.06</td> <td style="padding: 5px;">REV. DATO. 23.10.06</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">TEGN. AF: HFN</td> <td style="padding: 5px;">REV. AF: JSH</td> <td></td> </tr> </table>			BAG. NR.	KAL.	TEGN. NR.	TEGN. DATO. 28.08.06	REV. DATO. 23.10.06		TEGN. AF: HFN	REV. AF: JSH
BAG. NR.	KAL.	TEGN. NR.								
TEGN. DATO. 28.08.06	REV. DATO. 23.10.06									
TEGN. AF: HFN	REV. AF: JSH									



BRUTTOETAGEAREAL, BEBOELSE 154.5m²


MÅL, ANGIVET MED *KURSIV* ER VEJLEDENDE MÅL PÅ EKSISTERENDE BYGNINGSDELE

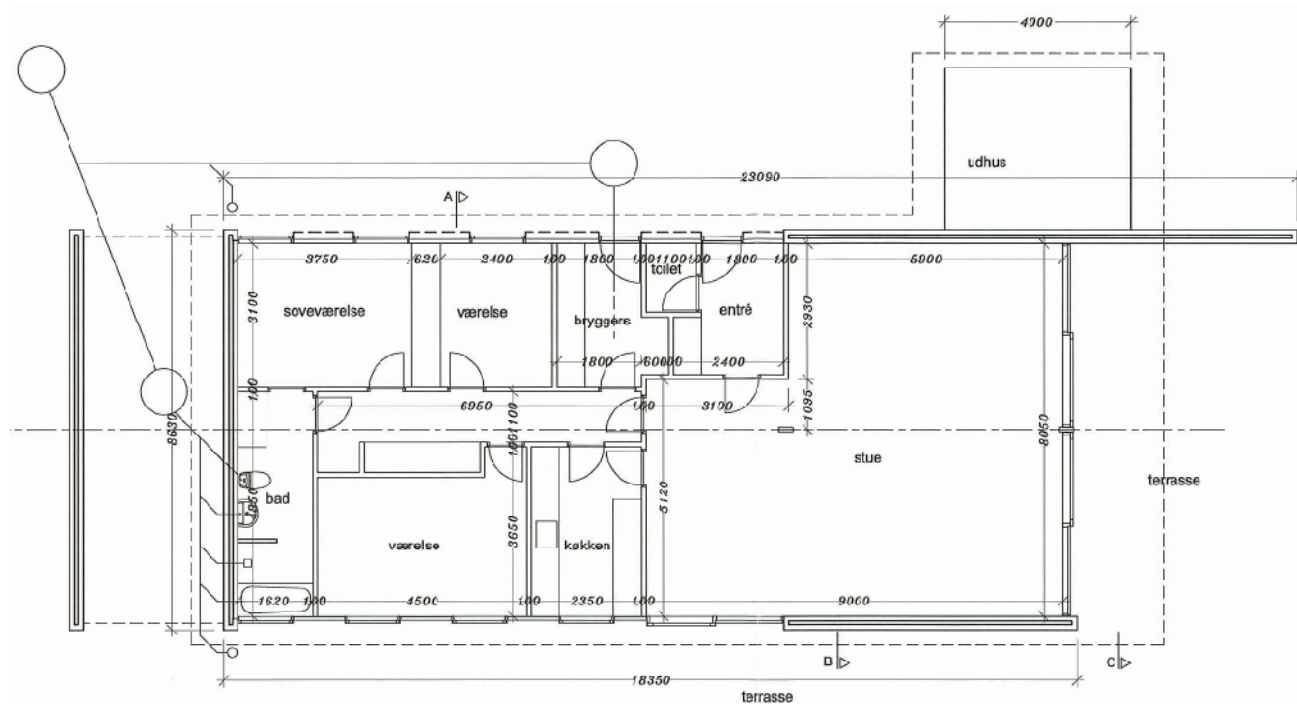
RETROFIT SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED BELIGGENHEDSPÅN - EKSISTERENDE FORHOLD SOM UDFØRT			
SAG. NR.	MÅL:	1:200	
TEGN. DATO:	03.08.06	REV. DATO:	
TEGN. AF:	PGH	REV. AF:	
AR1.00			
<small>● CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PÅKUS - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4700 NÆSTVED - TEL: +45 55 78 86 66 - FAX: +45 55 78 86 60 - WWW.CASA.DK</small>			



BRUTTOETAGEAREAL, BEBOELSE 161.0m²

MÅL, ANGIVET MED *KURSIV* ER VEJLEDENDE MÅL PÅ EKSISTERENDE BYGNINGSDELE

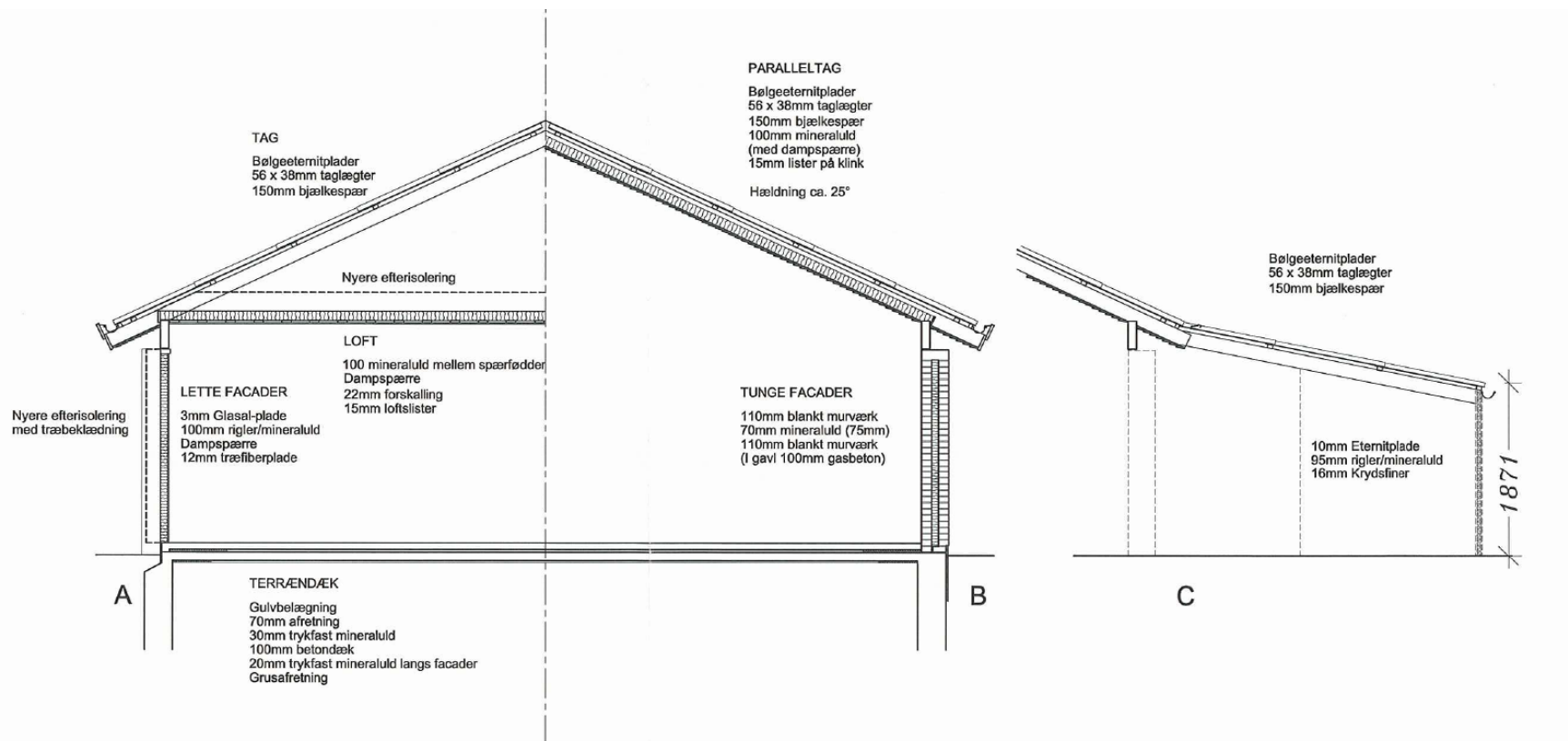
RETROFIT			
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED			
BELIGGENHEDSPÅN - FREMTIDIGE FORHOLD SOM UDFØRT			
SAG NR.	MÅL:	1:200	
TEGN. DATO:	03.08.06	REV. DATO:	
TEGN. AF:	PQH	REV. AF:	
● CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PÅKHUS - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4100 NESTVED - TEL: +45 55 78 66 66 - FAX: +45 55 78 66 63 - WWW.CASA.DK			AR1.01



BRUTTOETAGEAREAL, BEBOELSE 154.5m²

MÅL, ANGIVET MED *KURSIV* ER VEJLEDENDE MÅL PÅ EKSISTERENDE BYGNINGSDELE

RETROFIT			
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED			
PLAN - EKSISTERENDE FORHOLD SOM UDFØRT			
			
SAG. NR.		MÅL: 1:100	
TEGN. DATO: 30.09.05		REV. DATO:	
TEGN. AF: HFN		REV. AF:	
		AR2.00	
© CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PAVILJON - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4790 NÆSTVED - TEL. +45 55 78 88 88 - FAX. +45 55 78 88 88 - WWW.CASA.DK			



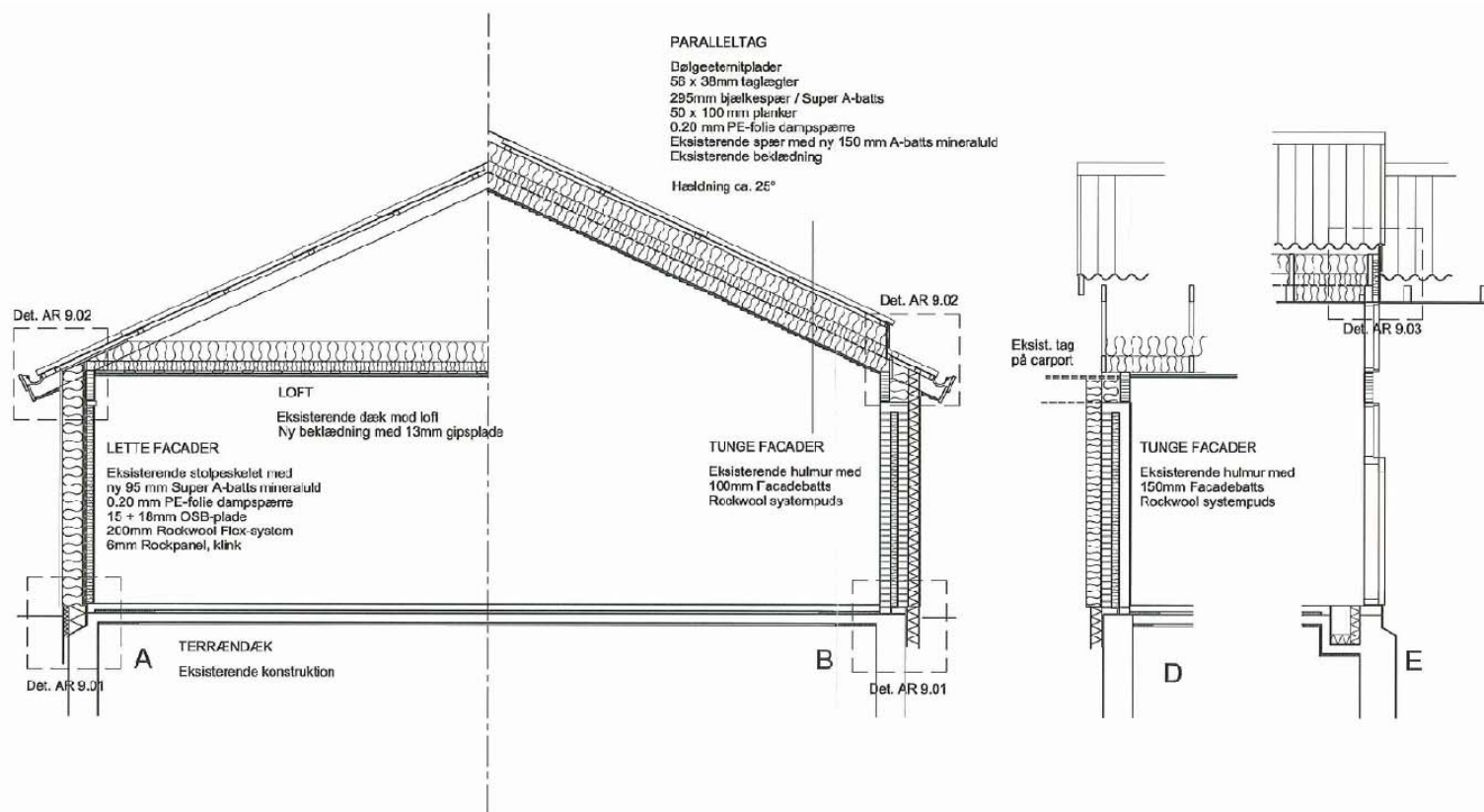
RETROFIT

SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED

SNIT A, B OG C - EKSISTERENDE FORHOLD SOM UDFØRT

CASA
ARKITEKTER

SAG. NR:	MÅL:	1:100	TEGN. NR:
TEGN. DATO:	30.09.05	REV. DATO:	
TEGN. AF:	HFN	REV. AF:	
● CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PAKHUS - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4700 NÆSTVED - TEL: +45 55 78 66 66 - FAX: +45 55 78 66 60 - WWW.CASA.DK			AR3.00



RETROFIT

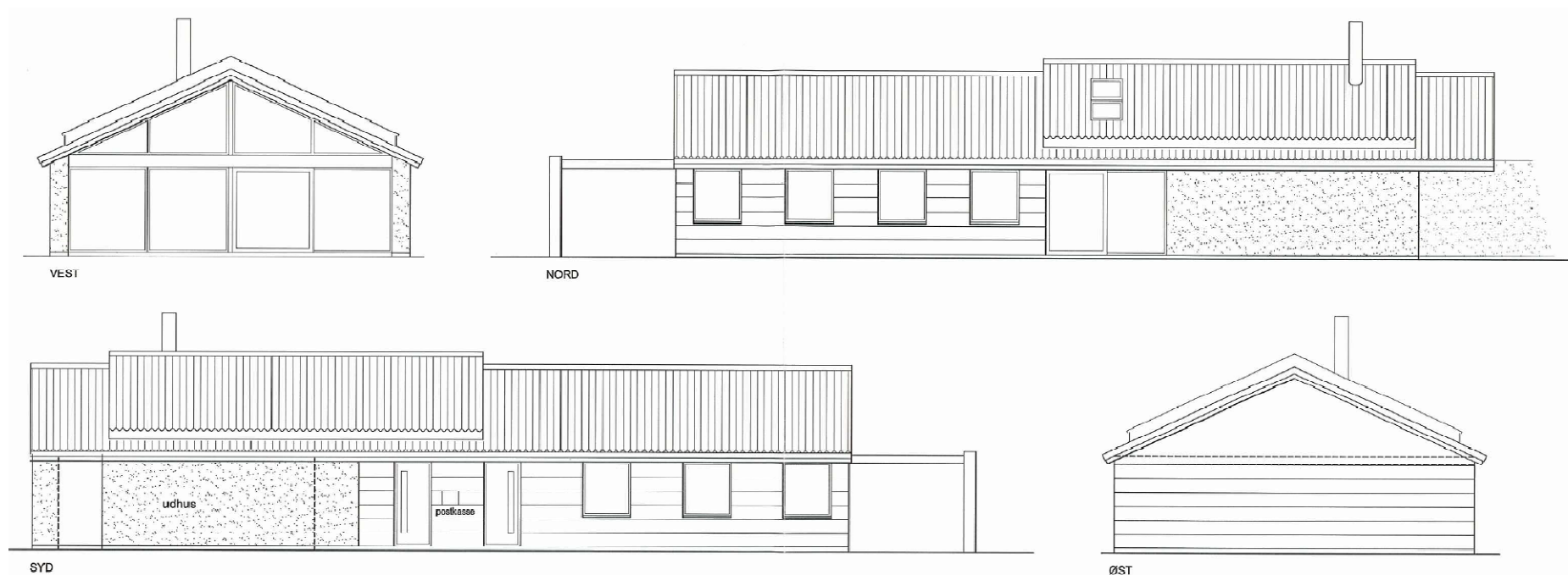
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED

SNIT A, B, D OG E - PROJEKT SOM UDFØRT

CASA
 ARKITEKTER

SAG. NR.	MÅL:	1:100	TEGN. NR.
TEGN. DATO:	30.09.05	REV. DATO:	20.06.06
TEGN. AF:	HFN	REV. AF:	HFN
			AR3.01

© CASA ARKITEKTER A/S - DET RØDE FÆRØBORG - RØDDEGADE 1 A, 2 - DK - 4780 ML. 31 VLJ - TEL: +45 55 70 00 00 - FAX: +45 55 73 00 00 - WWW.CASADK



RETROFIT

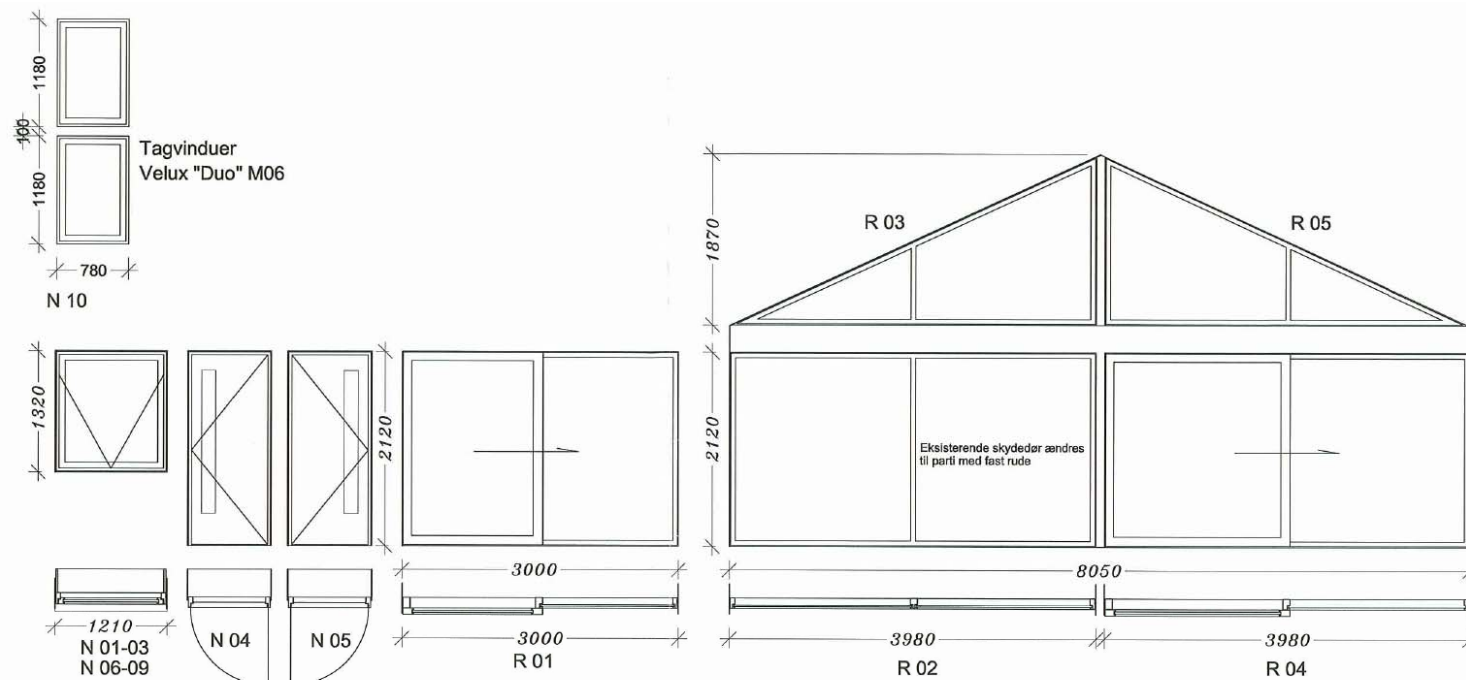
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED

FACADER - PROJEKT SOM UDFØRT

CASA
ARKITEKTER

SAG. NR.	MÅL:	1:100	TEGN. NR. AR4.01	
TEGN. DATO.	30.09.05	REV. DATO:		04.09.09
TEGN. AF:	HFN	REV. AF:		HFN

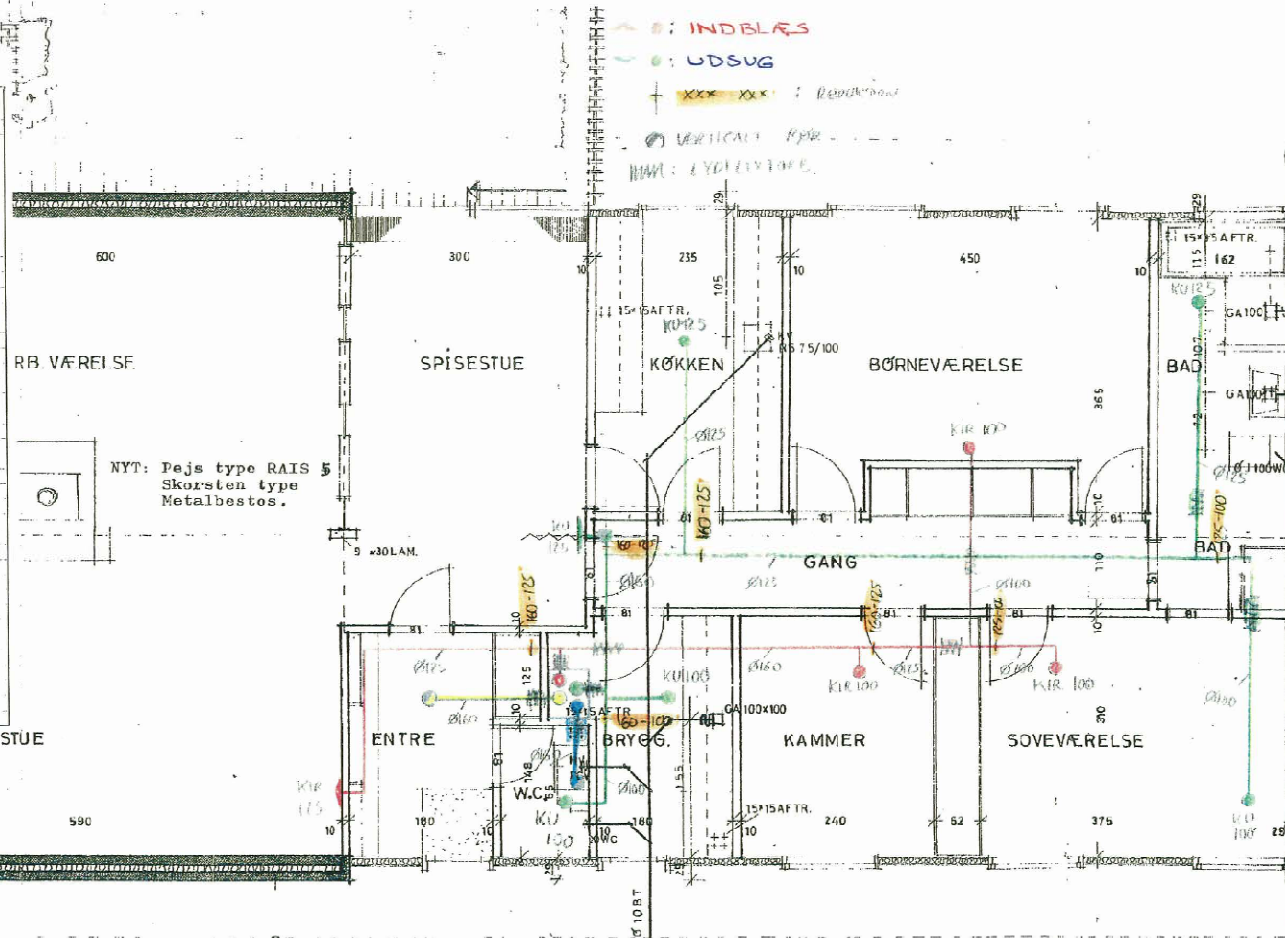
● CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PARHUS - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4700 NÆSTVED - TEL.: +45 55 70 00 00 - FAX: +45 55 78 00 00 - WWW.CASA.DK



MÅL, ANGIVET MED *KURSIV* ER VEJLEDENDE MÅL PÅ EKSISTERENDE BYGNINGSDELE

RETROFIT			
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED			
VINDUER OG UDVENDIGE DØRE SOM UDFØRT			
SAG. NR:		MÅL: 1:50	
TEGN. DATO: 30.09.05		REV. DATO: 28.08.06	
TEGN. AF: HFN		REV. AF: HFN	
TEGN. NR:			AR5.01
● CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PÅRHUS - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4700 NÆSTVED - TEL: +45 55 78 66 60 - FAX: +45 55 78 66 60 - WWW.CASA.DK			

VARENR.	STK.	BENÆVNELSE
8005	12	SPIRORØR Ø160 383m
8003	21	SPIRORØR Ø125 383m
8001	12	SPIRORØR Ø100 383m
8120	2	BU 90 GRD Ø160
8127	6	BU 90 GRD Ø125
8125	8	BU 90 GRD Ø100
81291	6	BU 45 GRD Ø160
8123	8	BU 45 GRD Ø125
81251	8	BU 45 GRD Ø100
8181	3	T-STK 150-160-160
8187	1	T-STK 150-125-160
8189	2	T-STK 150-100-160
8179	1	T-STK 125-125-125
8185	1	T-STK 125-100-125
8175	1	T-STK 100-100-100
83924		ENDEB. 160 M/HÅNDT. FITT. EPFH
83923		ENDEB. 125 M/HÅNDT. FITT. EPFH
83922		ENDEB. 100 M/HÅNDT. FITT. EPFH
8397		ENDERUND 160 RØR ESU
8227	4	RED. 160-125 RCU
8228		RED. 160-125 RCFU (VPL 10 / FU 10)
8226		RED. 160-100 RCU
8225	3	RED. 125-100 RCU
8577	1	VENT. INDB. Ø125 KIR
8575	3	VENT. INDB. Ø100 KIR
86031		VENT. UDSN. Ø160 KU
86911	3	VENT. UDSN. Ø125 KU
86981	3	VENT. UDSN. Ø100 KU
8279		NIPPEL Ø160
8277		NIPPEL Ø125
8275		NIPPEL Ø100
86061		SLANGEKLEMME
8552	5	LYDIFLEX Ø160
8550	2	LYDIFLEX Ø125
8548	1	LYDIFLEX Ø100
8481		FILTER STR. K Ø160
8479		FILTER STR. K Ø125
8452		HÅNDSPJÆLD M/HÅND Ø160 DSU
8460		HÅNDSPJÆLD M/HÅND Ø125 DSU
8400		AFKAST RIST 220X200 Ø100 YR
8405		VÆGRIST USAY Ø160



Matrikel nr. 11 af Stenstrup
Spurvevænget 27, 4700 Næstved
Ejer: Steen Brodersen beende samme sted
1103

OLJETANK.

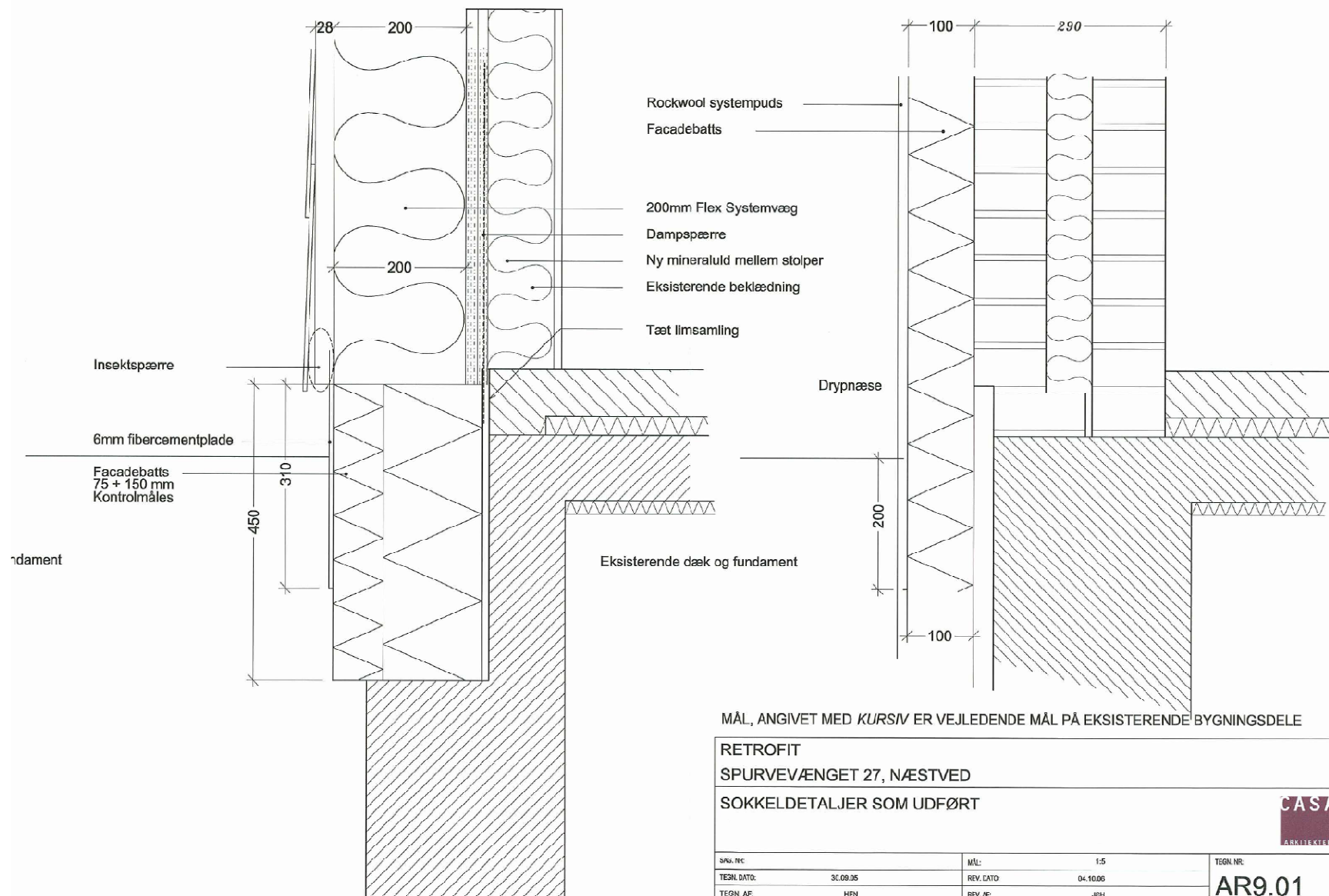
ALLE INDV. AFLØSLEDNINGE
M. RISTSTØRTE SAMLINGER

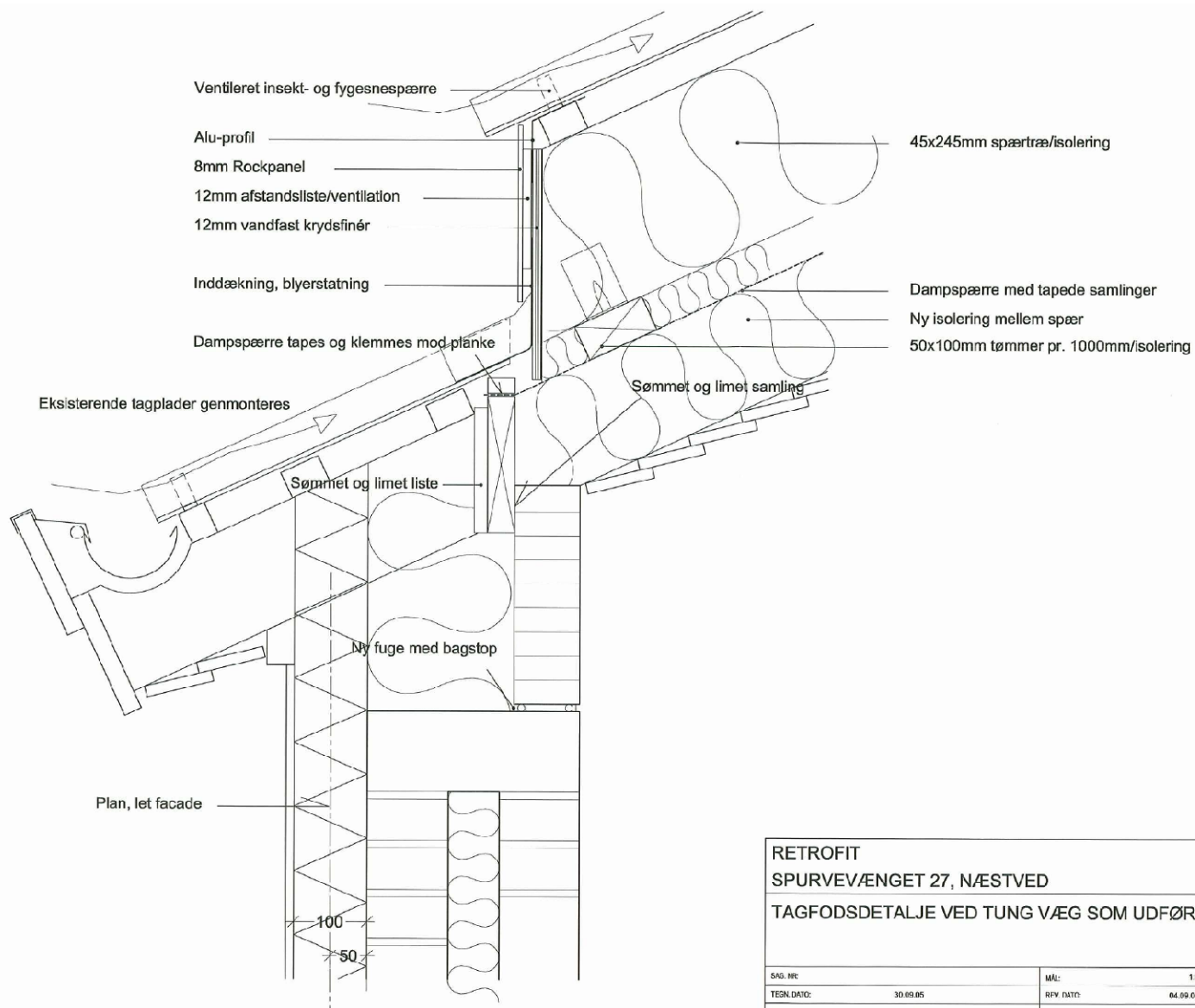
RETROFIT SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED VENTILATION PROJEKT SOM UDFØRT



SAKL. NR.	TEGN. DATO.	TEGN. AF.	MAIL	TRUK	ISAF. NR.
	30.09.05	NILAN			
			REV. DATO.		AR8.01
			REV. AF.		

FAK 4000TERAPS DETRIDEKANGS RØDROGDE 1A, 1. EK. 4700 NÆSTVED, TR. -45 55 18 88 88, FAX -45 55 18 88 88, WWW.CASA.DK





RETROFIT

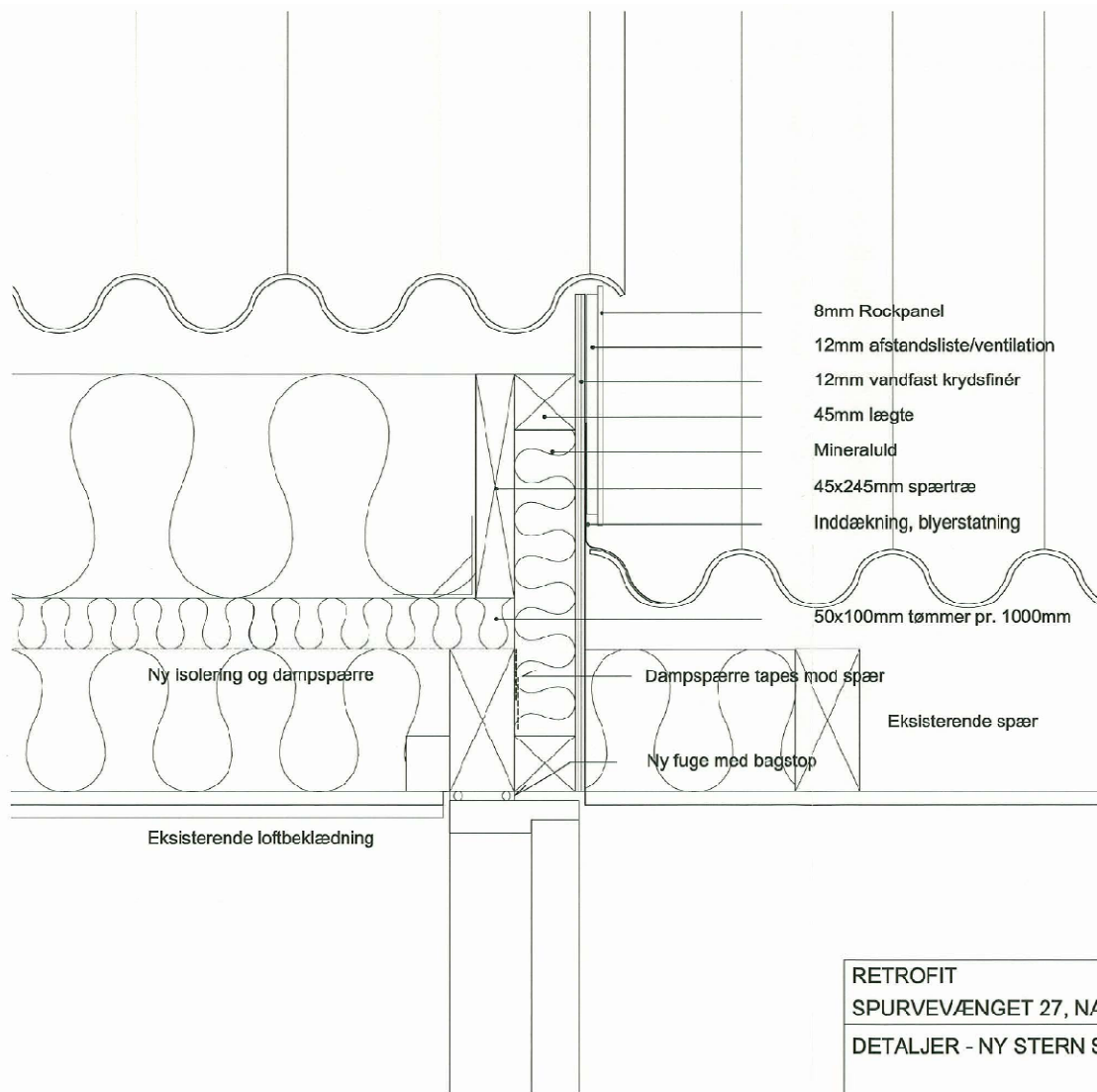
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED

TAGFODSDETALJE VED TUNG VÆG SOM UDFØRT

CASA
ARKITEKTER

SAG. NR.	MÅL:	1:5	TEGN. NR.
TEGN. DATO:	REV. DATO:	04.09.06	AR9.02
TEGN. AF:	REV. AF:	HFN	

© CASA ARKITEKTER APS. DET RØDE PANEELIS - BØRGERGADE 1A, 2. DK - 4700 NÆSTVED. TEL: +45 65 78 68 98 - FAX: +45 65 78 68 99 - WWW.CASADK



RETROFIT

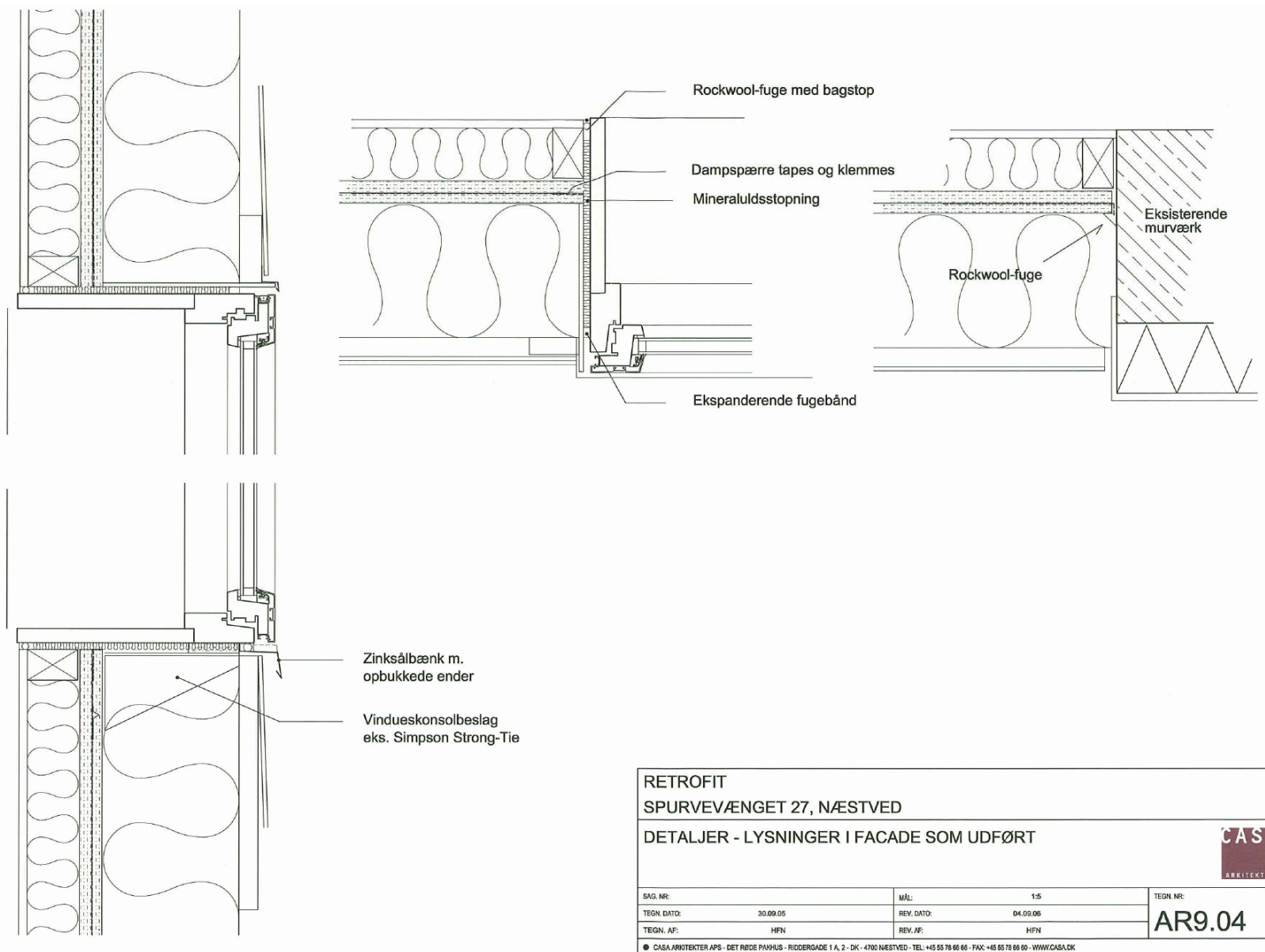
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED

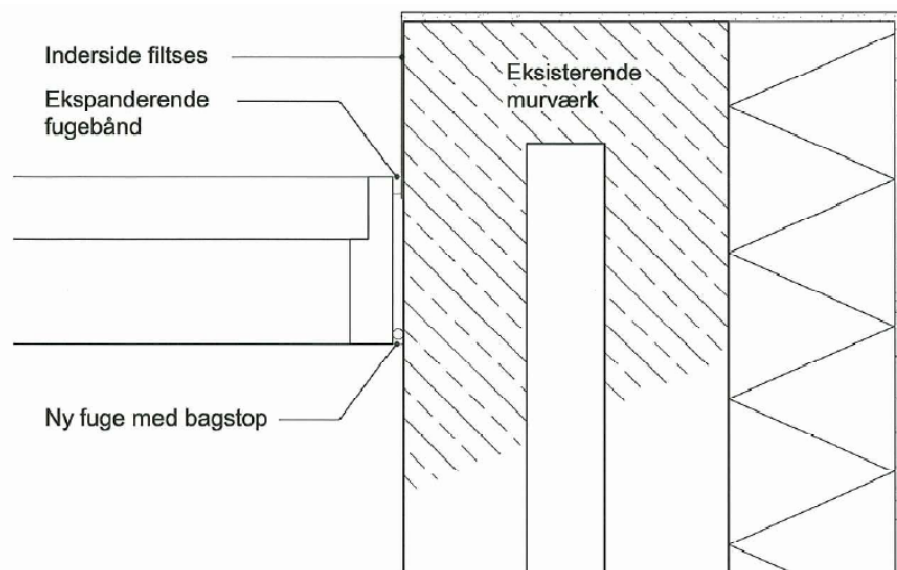
DETALJER - NY STERN SOM UDFØRT

CASA
ARKITEKTER

SAG. NR.	MÅL: 1:5	TEGN. NR.
TEGN. DATO: 30.09.05	REV. DATO: 04.09.06	AR9.03
TEGN. AF: HFN	REV. AF: HFN	

© CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PAVSUS - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4100 NÆSTVED - TEL: +45 55 78 00 30 - FAX: +45 55 78 00 00 - WWW.CASA.DK





RETROFIT

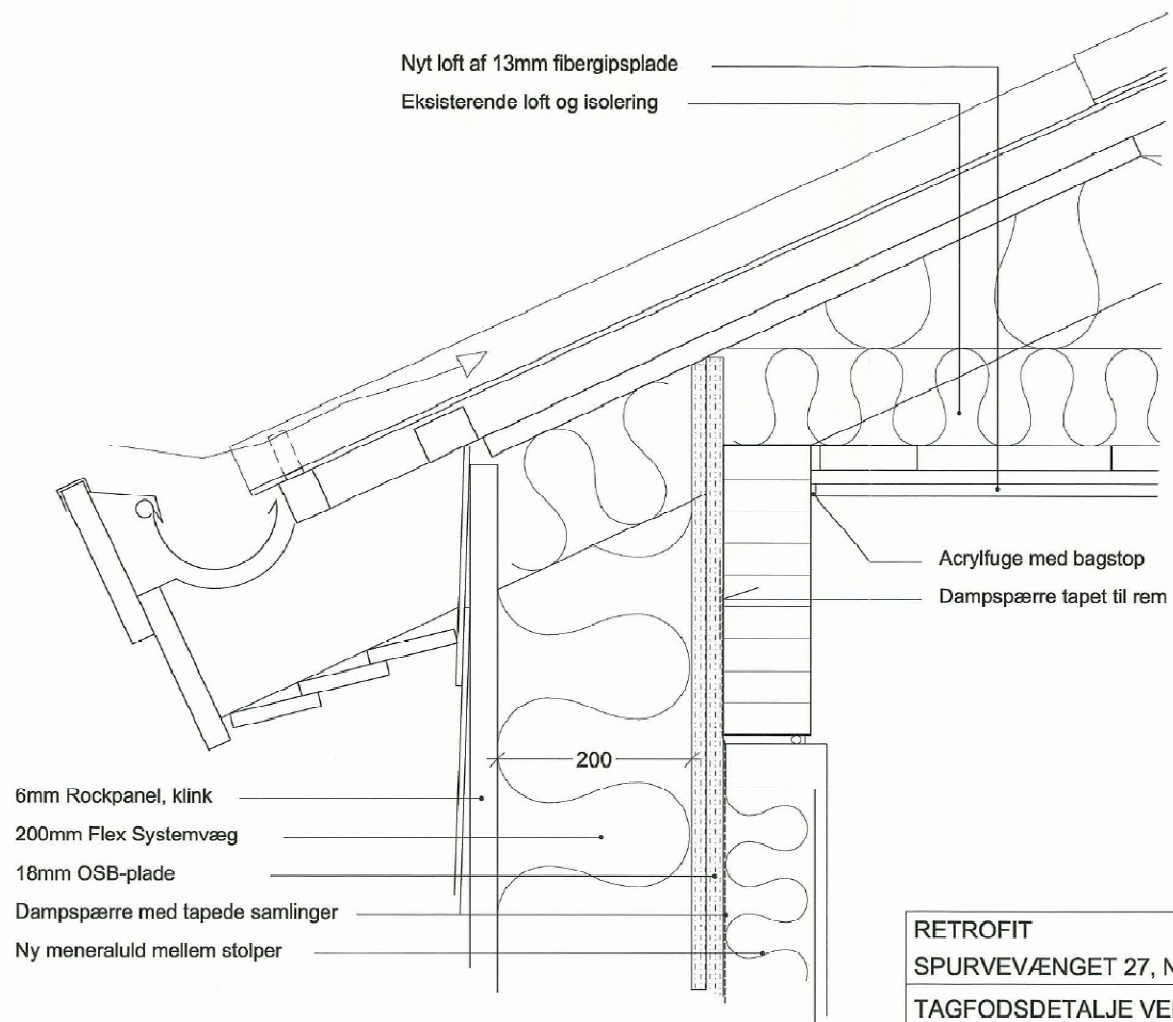
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED

DETALJE VED MURAFSLUTNING SOM UDFØRT



SAG. NR:	MÅL:	1:5	TEGN. NR:
TEGN. DATO:	30.09.05	REV. DATO:	20.06.06
TEGN. AF:	HFN	REV. AF:	HFN
			AR9.05

● CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PAKHUS - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4700 NÆSTVED - TEL: +45 55 78 66 66 - FAX: +45 55 78 66 60 - WWW.CASA.DK



RETROFIT

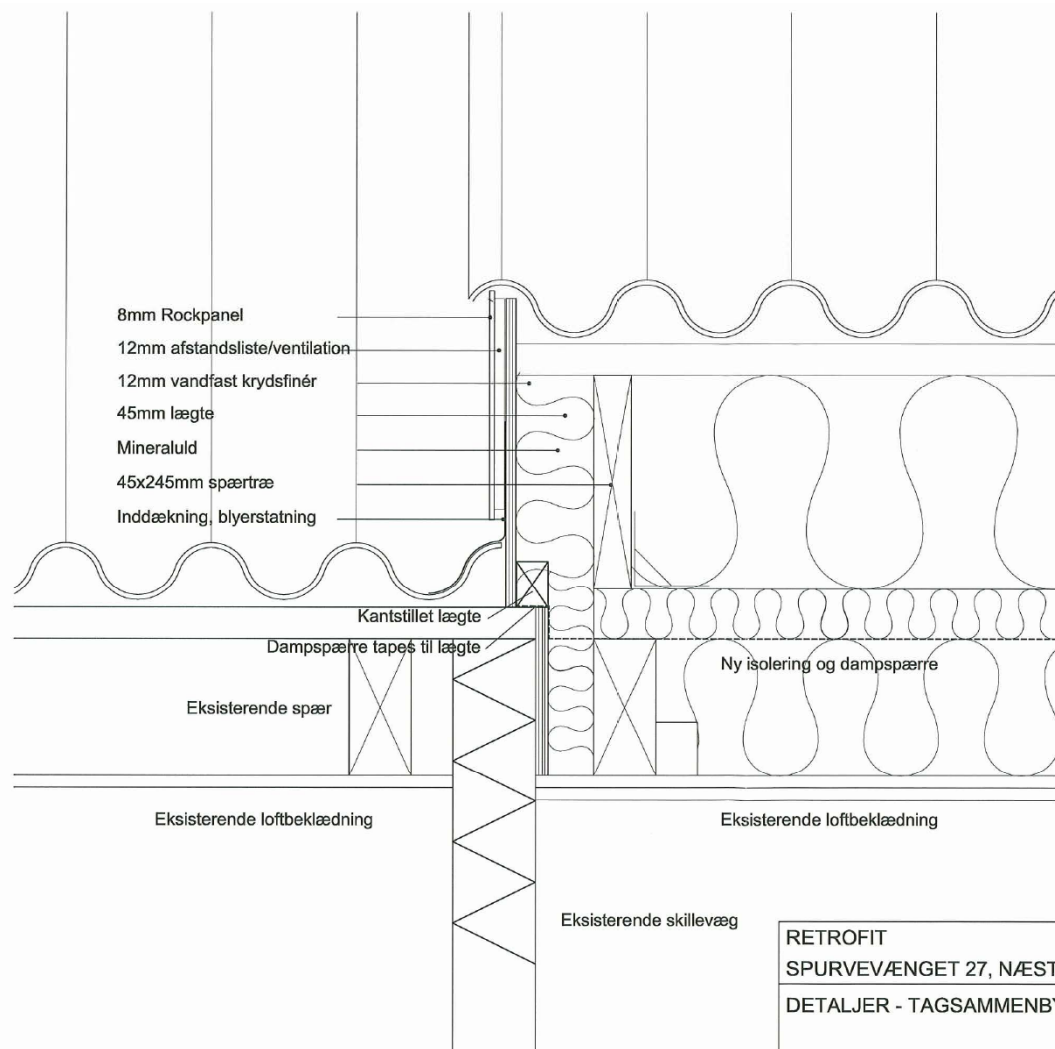
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED

TAGFODSDETALJE VED LET VÆG SOM UDFØRT



SAG. NR.	MÅL:	1:5	TEGN. NR.
TEGN. DATO:	30.09.05	REV. DATO:	04.06.06
TEGN. AF:	HPN	REV. AF:	HPN
			AR9.06

● CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PÅRHUS - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4700 NÆSTVED - TEL: +45 55 78 06 60 - FAX: +45 55 78 06 60 - WWW.CASA.DK



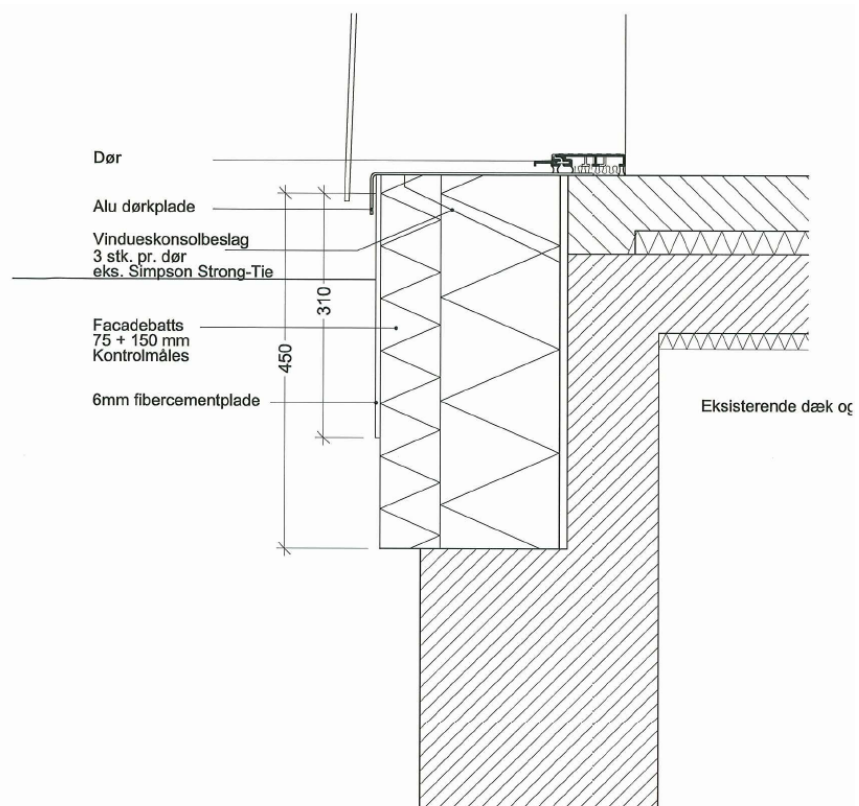
RETROFIT

SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED

DETALJER - TAGSAMMENBYGNINGER SOM UDFØRT

CASA
ARKITEKTER

SAG NR:	MÅL: 1/5	TEGN NR:
TEGN. DATO: 26.09.06	REV. DATO: 26.09.2006	AR9.07
TEGN. AF: JSH	REV. AF: JSH	
● CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PÅRHUS - RIDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4700 NÆSTVED - TEL: +45 55 79 66 66 - FAX: +45 55 79 66 60 - WWW.CASA.DK		



MÅL, ANGIVET MED *KURSIV* ER VEJLEDENDE MÅL PÅ EKSISTERENDE BYGNINGSDELE

RETROFIT			
SPURVEVÆNGET 27, NÆSTVED			
SOKKELDETALJER/UDV. DØRE SOM UDFØRT			CASA ARKITEKTER
SAG. NR:	MÅL:	1:5	TEGN. NR:
TEGN. DATO:	04.10.06	REV. DATO:	AR9.08
TEGN. AF:	JSH	REV. AF:	
● CASA ARKITEKTER APS - DET RØDE PAKHUS - REDDERGADE 1 A, 2 - DK - 4700 NÆSTVED - TEL: +45 55 78 66 66 - FAX: +45 55 78 62 62 - WWW.CASA.DK			

Bilag 2: Kedeldata til Be06 for Viessmann Vitodens 300

Kedeldata til SBI beregningsprogram Be06

Beskrivelse

Brændsel

Varmeydelse

Nominel effekt, kW Andel af nom. eff. til VBV produktion, -

Nominelle virkningsgrader

Belastning, -	Virkningsgrad, -	Kedel temp., °C	Korrektion, - /°C	
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0.98"/>	<input type="text" value="70"/>	<input type="text" value="0.0019 <sup>(2)</sup>"/>	Fuldlast
<input type="text" value="0.3"/>	<input type="text" value="1.06"/>	<input type="text" value="33"/>	<input type="text" value="0.0031 <sup>(3)</sup>"/>	Dellast

Tomgangstab

Belastning, -	Tabsfaktor, -	Andel til rum, -	dt gn, °C
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0.0061"/>	<input type="text" value="angives af bruger"/>	<input type="text" value="30"/>

Driftsforhold

☐ Udekomp. kedeltemp.

Kedeltemp., min, °C Temp.faktor, b for opstillingsrum

Blæseeffekt, W El til automatik, W

⁽¹⁾ Kedlens nominelle effekt er bestemt ved afprøvning på dansk naturgas. Værdien kan afvige fra mærkeeffekten.

⁽²⁾ Korrektionsfaktoren for fuldlast er bestemt ud fra målinger ved 30/50 og 60/80 °C.

⁽³⁾ Korrektionsfaktoren for dellast er bestemt ud fra målinger ved minimum last 30/50 og 30/36 °C.

⁽⁴⁾ Blæseeffekten er beregnet som elforbrug ved fuldlast minus elforbrug ved pumpe efterløb. Værdien kan afvige fra mærkeeffekten.

⁽⁵⁾ El til automatik omfatter kedlens standby-forbrug samt evt. ekstra-udstyr (fx klimastyring), der blev brugt ved kedelafprøvning.

Varmtvandsbeholder

Beholdervolumen, liter (For solvarmebeholdere opgives totalvolumen)

Fremløbstemperatur fra centralvarme, °C

El-opvarmning af VBV (Hvis 'Nej' kører kedlen om sommeren)

☐ Solvarmebeholder med solvarmespiral i top. (Korrektion for temp.lagdeling)

⁽⁷⁾ Varmetab fra varmtvandsbeholder (VVB), W/K

Temperaturfaktor, b for opstillingsrum, - (Opv. zone: b = 0, Ude: b = 1)

Varmetab fra tilslutningsrør til VVB

Beskrivelse	Længde, m	Tab, W/m K	b, -
<input type="text"/>	<input type="text" value="angives af bruger"/>	<input type="text" value="angives af bruger"/>	<input type="text" value="angives af bruger"/>

Ladekredspumpe

For kombi-pumpe angives P til 0 W

Effekt, W ☐ Styret Lade-eff, kW

Cirkulationspumpe til varmt brugsvand

Effekt, W ☐ El-tracing af brugsvandsrør

⁽⁶⁾ Gennemstrømningskedel med 80 l liter beholder

⁽⁷⁾ Jf SBI anvisning 213 skal varmetabet beregnes efter DS 452.

Ved kedelafprøvning er der bestemt et varmetab på 1,87 W/K. Denne værdi inkluderer varmetab fra kedlen efter opvarmning af beholderen

Rockwool A/S har gennemført en energirenovering af et typisk parcelhus fra 70'erne. Projektets formål har været at demonstrere, at det er muligt at opnå store energibesparelser i eksisterende boliger og mere overordnet at bidrage til en bedre viden om, hvordan boligmassen inden for overskuelig fremtid kan energirenoveres. Rapporten viser beregningerne af, hvordan husets energimæssige ydeevne er blevet forbedret ved gennemførelse af energibesparende tiltag vedrørende klimaskærm og installationer. Husets energibehov til bygningsdrift er blevet mere end halveret.

Rapporten indeholder beskrivelse af husets klimaskærmskonstruktioner og varme- og ventilationsanlæg, hvordan de energimæssige forbedringer er udført, beregning af husets U-værdier og beregning af husets energibehov, herunder beskrivelse af inddata til beregningen. Desuden indeholder rapporten et omfattende tegningsmateriale af huset før og efter energirenoveringen.

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej

2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk